



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI**

**“ISSIQLIK ENERGETIKASI” KAFEDRASI**

**“ISSIQLIK VA MASSA  
ALMASHINUV JARAYONLARI  
VA QURILMALARI”  
fanidan**

**ELEKTRON O'QUV USLUBIY  
MAJMUA**

**Qarshi 2022 yil**

**O'ZBEKISTON RESPULIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI**

**“ISSIQLIK ENERGETIKASI” KAFEDRASI**

**“ISSIQLIK VA MASSA  
ALMASHINUV JARAYONLARI  
VA QURILMALARI”  
fanidan tayyorlangan**

**ELEKTRON O'QUV USLUBIY MAJMUASI**

**Bilim sohasi:** 300 000 – Ishlab chiqarish-texnik soha

**Ta'lim sohasi:** 310 000 – Muhandislik ishi

**Ta'lim yo'nalishi:** 5310100 – Energetika (issiqlik energetikasi)

**Qarshi 2022 yil**

Ushbu elektron o'quv uslubiy majmua O'zbekiston Respublikasi Oily va O'rta maxsus ta'lim vazirligi *Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining 2018 yil 27.06 dagi №9-sonli yig'ilishida tasdiqlangan fanning o'quv dasturi asosida ishlab chiqilgan.*

**Tuzuvchi:**

**Ibragimov U.X. –**

*“Issiqlik energetikasi” kafedrasi dotsenti,  
t.f.f.d., PhD.*

**Taqrizchilar:**

**Fayziyev T.A. –**

*QMII “Issiqlik energetikasi” kafedrasi  
mudiri, t.f.n.,dots.*

**Vardiyashvili A.A. –**

*QarDU “Muqobil va qayta tiklanuvchi  
energiya manbalari” kafedrasi mudiri,  
t.f.n.,dots.*

Ushbu elektron o'quv uslubiy majmua institut Uslubiy Kengashning 2022 yil \_\_. \_\_ dagi №\_\_ sonli yig'ilishida ko'rib chiqilgan va o'quv jarayonida foydalanishga tavsiya etilgan.

## MUNDARIJA

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>I. O'quv materiallari .....</b>                              | <b>5</b>   |
| Ma'ruzalar matni .....                                          | 5          |
| Amaliy mashg'ulot uchun o'quv uslubiy qo'llanma .....           | 180        |
| Laboratoriya mashg'uloti uchun o'quv uslubiy qo'llanama .....   | 233        |
| <b>II. Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari .....</b>                 | <b>264</b> |
| Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari mavzulari .....                  | 264        |
| Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari bo'yicha uslubiy ko'rsatma ..... | 265        |
| <b>III. Glossariy .....</b>                                     | <b>283</b> |
| <b>IV. Ilovalar .....</b>                                       | <b>288</b> |
| Fanning o'quv dasturi .....                                     | 288        |
| Fanning sillabusi .....                                         | 291        |
| Tarqatma materiallar .....                                      | 304        |
| Baholash mezonlari .....                                        | 322        |
| Boshqa materiallar .....                                        | 323        |

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                     |
| 1.1. "Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari" fani, maqsadi va mazmuni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                     |
| 1.2. Jarayonlar va qurilmalar to'g'risidagi fanni yuzaga kelishi va rivojlanishi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                     |
| 1.3. Asosiy jarayonlarning tasnifi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                     |
| 1.4. Sanoat qurilmalarining tasnifi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                     |
| 1.5. Issiqlik almashinuv va issiqlik-massa almashinuv qurilmalari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                     |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Energetik va energotexnologik qurilmalar, sanoat IMA jarayonlari va qurilmalarining asosiy turlari to'g'risida tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- fanning mazmuni tushunchalari beriladi;</li> <li>- fanning kelib chiqishi va rivojlanishi tushunchalari beriladi;</li> <li>- sanoat qurilmalarining tasnifi tushunchalari beriladi;</li> <li>- issiqlik va massa almashinuv qurilmalari tushunchalari beriladi;</li> <li>- IMA qurilmalarining konstruktiv belgilari tushunchalari beriladi.</li> </ul> |                                                                                                                                     |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                     |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                     |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                     |
| <b>Tayanch iboralar:</b> issiqlik almashinish qurilmalari, issiqlik va massa almashinish qurilmalari, bug'lantirish, rektifikatsiya, absorberlar, quritish kamerasi, gradirnya, rekuperativ, regenerativ                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                     |

## 1.1. "Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari" fani, maqsadi va mazmuni.

«Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari» fanining maqsadi – energetika va unga tutash bo'lgan sanoatlarda qo'llaniladigan barcha issiqlik va massa almashinuv (IMA) qurilmalarida kechadigan issiqlik va massa almashinuv jarayonlarini chuqur o'rganish va tejamkor bo'lgan issiqlik va massa almashinuv qurilmalarini yaratish, loyihalash va takomillashtirishdan iborat.

Energetika va kimyo sanoati korxonalarida turli texnologik jarayonlar amalga oshiriladi. Bu jarayonlar davomida jarayonda ishtirok etuvchi moddalar va materiallarning ichki tuzilishi, tarkibi, agregat holatlari o'zgaradi. Bundan tashqari ushbu texnologik jarayonlar turli fizik-kimyoviy jarayonlardan iborat. Bunday jarayonlarga quyidagilarni kiritish mumkin: gazsimon, suyuq va qattiq moddalar va materiallarni uzatish, qattiq moddalarni maydalash va saralash, gazlarni siqish va uzatish, moddalarni isitish va sovitish, suyuqliklarni aralashtirish, turli xil jinsli aralashmalarni ajratish, eritmalarini bug'latish va kondensatsiyalash, ho'l materiallarni quritish va boshqalar. Demak, bunday turli jarayonlar, material va mahsulotlarni ishlab chiqarish texnologiyasi umumiy qonuniyatlar bilan ifodalangan bir turdagi issiqlik-fizik va fizik-kimyoviy jarayonlardan iborat bo'ladi. Bu texnologik jarayonlar turli ishlab chiqarishlarda ishlash prinsiplari bir xil bo'lgan moslama va qurilmalarda olib boriladi.

Energetika sanoati va kimyo texnologiyasining turli tarmoqlari uchun umumiy bo'lgan jarayonlar va qurilmalar *asosiy jarayonlar va qurilmalar* deb yuritiladi. Asosiy qurilmalar qatoriga energetika sanoatining ko'pchilik tarmoqlarida ishlatiladigan issiqlik almashinuv qurilmalari, bug'latgichlar va quritgichlar, nasos va kompressorlar, filtr va sentrifugalalar, siklon va skrubberlar asosiy qurilmalar jumlasiga kiradi.

«Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari» kursida asosiy jarayonlarning nazariyasi, ushbu jarayonlar amalga oshiriladigan moslama va qurilmalarning tuzilishi, ishlash

prinsiplari va ularni hisoblash uslublari o'rganiladi. Asosiy jarayonlarning qonuniyatlarini o'rganish va qurilmalarni hisoblash usullarini tuzishda fizika, matematika, kimyo, fizik-kimyo, issiqlik texnikasi asoslari, iqtisod kabi fanlarning fundamental qonunlari asos qilib olinadi.

«Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari» kursi energetika, kimyo, oziq-ovqat, neftni qayta ishlash va shu kabi bir qator sanoat tarmoqlari uchun muhandis-texnolog kadrlar tayyorlashda katta ahamiyatga ega. Bu fan asosida tegishli jarayonlarni hisoblash, tahlil qilish, ularning eng maqbul kattaliklarini aniqlash va ularni hisoblash mumkin. Ushbu kurs moslama va qurilmalarni samarali ishlatish, tejamkorlik muammolarini hal etish borasida ma'lumot beradi, hamda ulardagi jarayonlarni jadallashtirish va ish samaradorligini oshirish usullarini o'rgatadi.

### ***1.2. Jarayonlar va qurilmalar to'g'risidagi fanni yuzaga kelishi va rivojlanishi.***

«Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari» fanining kelib chiqish tarixi kimyo sanoatining rivojlanish bilan bog'liq. Kimyo sanoati XVIII asrning oxiri va XIX asrning boshlarida paydo bo'la boshladi va qisqa davr ichida rivojlangan mamlakatlarda xalq ho'jaligining eng muhim tarmoqlaridan biriga aylandi. Kimyo sanoatining rivojlanishi bilan ishlab chiqarish jarayonlarini umumlashtiruvchi va qurilmalar hisobini samarali hal etuvchi fanga ehtiyoj kuchaydi.

Rossiyada "Asosiy jarayonlar va qurilmalar" fani haqidagi fikrni birinchi bo'lib prof. V.A. Denisov 1828 yilda ilgari surdi. Keyinchalik D.I. Mendeleev kimyo texnologiyasi asosiy jarayonlarining sinflarini tuzib chiqdi. XIX asrning 90-yillari oxirida prof. A.K. Krupskiy Peterburg texnologiya institutida yangi o'quv fani - "Asosiy jarayonlar va qurilmalarni hisoblash va loyihalash" bo'yicha ma'ruza o'qiy boshladi. Biroz keyinroq Moskva oliy texnika o'quv yurtlarida prof. I.A. Tishchenko shu yangi fan bo'yicha ma'ruzalar o'qiy boshladi. Shu sababli A.K. Krupskiy va I.A. Tishchenko "Asosiy jarayonlar va qurilmalar" fanining asoschilaridan hisoblanadi. 1935 yilda A.G. Kasatkin tomonidan "Kimyo texnologiyasining asosiy jarayon va qurilmalari" darsligi chop etildi. Bu kitob ushbu fanning rivojlanishida katta ahamiyatga ega bo'ldi.

So'nggi yillarda «Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari» fani uzluksiz rivojlanib kelmoqda. Ilmiy-texnikaviy taraqqiyot issiqlik va massa almashinuv qurilmalarini mukammallashtirishni talab qildi. Bu borada I.A. Tishchenko, A.G. Kasatkin, M.A. Kichigin, A.V. Lkov, N.I. Gelperin, A.N. Planovskiy, G.K. Filonenko, P.G. Romankov, V.V. Kafarov, I.I. Chernobilskiy, G.N. Kostenko, P.D. Lebedev va A.M. Baklastovlarning ilmiy ishlari hamda ilmiy xodim va muhandis-texniklarning ko'p ilmiy ta'sislarida o'zlarining ko'rsatkichlari bilan chet el qurilmalaridan afzal bo'lgan ko'p miqdordagi unumdorli va iqtisodiyligi yuqori bo'lgan quritgichlar, rektifikatsiya, bug'latgich qurilmalari va issiqlik transformatorlari yaratildi.

O'zbekistonda ushbu fanning tarixi hozirgi Toshkent Davlat texnika universiteti qoshidagi "Issiqlik texnikasining nazariy asoslari" kafedrasini negizida professor D.N. Muhiddinov tashabbusi bilan 1986 yilda "Sanoat issiqlik energetikasi" kafedrasini ochilishi bilan bog'liq. Ushbu kafedraga prof. D.N. Muhiddinov rahbarlik qildi va "Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari" fani ikki qismga "Issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalari" va "Issiqlik va massa almashinuv qurilmalarini loyihalash, montaj va ekspluatatsiya qilish" qismlariga bo'lingan holda prof. D.N. Muhiddinov tomonidan ma'ruzalar o'qildi. Keyinchalik ushbu fanni rivojlanishiga dosentlar A.U. Alimbaev, B.V. Yusupov, R.P. Boboxodjaev, A.Sh. Shoislomov, A.A. Badalovlar, xususan Qarshi muhandislik iqtisodiyoti institutida professor G.N. Uzoqov va dosent U.X. Ibragimovlarning hissalarini beqiyosdir.

Hozirgi kunda yuqorida nomlari keltirilgan o'zbek olimlarining rahbarligi ostida issiqlik va massa almashinuv jarayonlari va qurilmalarida issiqlik va massa almashinuv jarayonini jadallashtirish, energetik tejamkor quritish qurilmalarini yaratish, mahsulotlarni saqlash va ishlov berishda issiqlik va massa almashinuv jarayonlarining nazariy asoslari, gradirnyalarda issiqlik va massa almashinuv jarayonini tadqiqot qilish, bug'latish va rektifikatsiya qurilmalarida energetik samaradorlikni oshirish va iqtisodiy samarador bo'lgan moslama va qurilmalarni yaratish va ishlab chiqish bo'yicha chuqur ilmiy izlanishlar olib borilmoqda.

### ***1.3. Asosiy jarayonlarning tasnifi.***

Jarayon va qurilmalar fanining rivojlanishi texnologik jarayonlarning ilmiy asoslangan klassifikatsiyasi va tushunchalar tizimini yaratish imkonini berdi.

*Sanoat jarayoni* – ma'lum natijaga erishish uchun amalga oshiriladigan ketma-ket harakatlarning majmuasi va yig'indisi.

*Texnologiya* – bu xom-ashyodan avvaldan belgilangan xossalarga ega mahsulot olish maqsadida o‘tkaziladigan bir qator usullardir. Texnologiyaning fan sifatidagi maqsadi eng samarador va tejamkor texnologik jarayonlarni aniqlash va amaliyotda qo‘llash uchun fizik, kimyoviy, issiqlik, mexanik va boshqa qonuniyatlarni o‘rganishdir.

*Texnologik qurilma* – texnologik jarayonlarni o‘tkazish uchun mo‘ljallangan qurilma, uskuna, moslama yoki jihoz.

*Mashina* – energiya yoki materialni o‘zgartirish uchun mexanik harakat qiladigan uskuna yoki moslama.

Energetika, kimyo, oziq-ovqat, neftni qayta ishlash va boshqa sanoatlarda turli-tuman texnologiya jarayonlari ishlatiladi. Bunday jarayonlar ayrim belgilariga asosan bir necha sinflarga bo‘linadi. Texnologiya jarayonlarini ularning harakatlantiruvchi kuchiga ko‘ra turlarga bo‘lish maqsadga muvofiq. Shunga ko‘ra asosiy jarayonlar 5 guruhga bo‘linadi:

1. Mexanik jarayonlar.
2. Hidromexanik jarayonlar.
3. Issiqlik almashinuv jarayonlari.
4. Massa almashinuv jarayonlari.
5. Kimyoviy jarayonlar.

*Mexanik jarayonlar* qattiq materiallarni mexanik kuch ta’sirida qayta ishlash bilan bog‘liq. Bunday jarayonlar qatoriga maydalash, saralash, uzatish, aralashtirish va shu kabilar kiradi. Bu jarayonlarning tezligi qattiq jismlarning mexanik qonuniyatlari bilan ifodalanadi. Bunda harakatlantiruvchi kuch vazifasini mexanik bosim kuchi yoki markazdan qochma kuch bajaradi.

Suyuq va gazsimon tizimlardagi harakat (aralashtirish, filtrlar, cho‘ktirish) bilan bog‘liq jarayonlar *gidromexanik jarayonlarni* tashkil etadi. Bunday jarayonlarning tezligi gidromexanika qonunlari bilan aniqlanadi. Hidromexanik jarayonlarning harakatlantiruvchi kuchi – gidrostatik va gidrodinamik bosimdir.

*Issiqlik almashinuv jarayoni* – haroratlar farqi mavjud bo‘lganda bir (harorati yuqori) jismdan ikkinchi (harorati past) jismga issiqlikning uzatilishidir. Bu guruhga isitish, sovitish, bug‘latish, kondensatsiyalash va sun‘iy sovuqlik hosil qilish jarayonlari kiradi. Jarayonning tezligi gidrodinamik rejimga bog‘liq holda issiqlik uzatish qonunlari bilan ifodalanadi. Issiqlik jarayonlarining harakatlantiruvchi kuchi – issiqlik va sovuq issiqlik tashuvchilar o‘rtasidagi haroratlar farqidir.

*Massa almashinuv jarayonlari* – bir yoki bir nechta komponentlarning bir fazadan fazalarni ajratuvchi yuza orqali ikkinchi fazaga o‘tishidir. Komponentlar bir fazadan ikkinchi fazaga molekulyar va turbulent diffuziyalar yordamida o‘tadi. Shu sababli bu jarayonlar *diffuzion jarayonlar* ham deyiladi. Bu guruhga adsorbsiya, adsorbsiya, suyuqliklarni haydash va quritish jarayonlari kiradi. Jarayonlarning tezligi fazalarning gidrodinamik harakatiga bog‘liq bo‘lib, massa uzatish qonuniyatlari bilan ifodalanadi. Masa almashinuv jarayonlarining harakatlantiruvchi kuchi – fazalardagi konsentratsiyalarning farqidir.

*Kimyoviy jarayonlar* moddalarning o‘zaro ta’siri natijasida yangi birikmalarning hosil bo‘lishidir. Kimyoviy reaksiyalarda issiqlik va massa almashinuv jarayonlari ham sodir bo‘ladi. Bu guruhdagi jarayonlarning tezligi kimyoviy kinetika qonuniyatlari bilan ifodalanadi. Kimyoviy jarayonlarning harakatlantiruvchi kuchi - reaksiyaga kirishayotgan moddalarning konsentratsiyasidir.

Energetika sanoatidagi texnologiya jarayonlari *davriy* va *uzluksiz* ishlaydi. Jarayonlar vaqt davomida parametrlarning o‘zgarishiga qarab *barqaror* va *nobarqaror* bo‘ladi. Tezlik, konsentratsiya, harorat kabi parametrlar vaqt davomida o‘zgarsa, jarayon nobarqaror, aksincha, agar bu parametrlar o‘zgarmasa jarayon barqaror deyiladi. Energetika, kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida asosan uzluksiz texnologiya jaayonlaridan foydalaniladi.

#### **1.4. Sanoat qurilmalarining tasnifi.**

Zamonaviy sanoat korxonasining energetik va energotexnologik ho‘jaligi murakkab bo‘lgan majmuani tashkil etadi va quyidagi qurilmalarni o‘z ichiga oladi.

Turli ko‘rinishdagi energiya ishlab chiqarish va o‘zgartirish qurilmalari, yoqilg‘i, energiya, hom-ashyo mahsulotlarini tashish uchun quvurlar va kommunikasiyalar (elektr uzatish simlari, siqilgan havo, gidravlik va pnevmatik tashish yo‘llari quvurlari va hokazo); isitish, shamollatish va havoni maromlash qurilmalari va tizimlari, texnologik mahsulot ishlab chiqarish uchun energiyadan foydalanuvchi qurilmalar; chiqindilarni zararsizlantirish uchun qayta ishlovchi qurilmalar; korxonaning ikkilamchi va yo‘ldosh energiya manbalari (chiqindilarning fizik va kimyoviy issiqligi, chiqib ketuvchi gazlar issiqligi,

kondensat va qayta ishlangan bug'ning issiqligi, siqilgan havo va boshqa gazlarning mexanik energiyasi va hok.) dan foydalanuvchi qurilmalar va hokazo. Eng murakkab va turli-tuman energotexnologik qurilmalarni qo'llaydigan bo'lib energetika, kimyo, neft kimyosi, metallurgiya, oziq-ovqat, qog'oz ishlab chiqarish va qurilish materiallari sanoati korxonalari xisoblanadi.

Hozirgi sharoitda ishlab turgan va qurilayotgan sanoat korxonalarida yoqilg'i-energetik va xomashyo mahsulotlaridan oqilona foydalanib energiya tejash, kam chiqitli va chiqindisiz texnologiyalar va energotexnologiyalarning qurama usuli tamoyillari asosida amalga oshiriladi.

Barcha issiqlik-massa almashinuvi qurilmalari yuqori haroratli, *o'rta haroratli, past haroratli va kriogen haroratli* jarayonlarda ishlaydi. Yuqori haroratli jarayonlarga olovli texnika jarayonlari va qurilmalari, xususan sanoat pechlari kiritiladi. Ularga 700-2000°C oraliqdagi ishchi haroratlar mos keladi. O'rta haroratli jarayonlar va qurilmalarga bug'latish, rektifikatsiya (ajratish) va quritishlar kiritiladi, ularning ishlash ko'lami 150-700°C oraliqda joylashgan. Past haroratli tizimlarga isitish, shamollatish, maromlagichlar, issiqlik nasoslari va sovitish qurilmalari kiradi, ularning ishlash ko'lami -150 dan +150°C gacha. Yanada pastroq haroratli jarayonlar kriogen (masalan havoni ajratish) haroratli jarayon deb ataladi.

Eng ko'p tarqalgan jarayonlarga quyidagilarni kiritish mumkin: qizdirish, sovitish, kondensatsiyalash, bug'latish, quritish, distillyatsiya, rektifikatsiya, eritish, kristallash, qotirish. Bularning ayrimlari ko'pincha nafaqat issiqlik, balki massa almashinuv (yutilish, diffuziya va boshqalar) bilan birga kechadi.

Issiqlik va massa almashinuv qurilmalarining asosiy elementlari bo'lib, issiqlik almashinuv va issiqlik-massa almashinuv qurilmalari, kameralar va boshqa qurilmalar hisoblanadi.

Bir issiqlik tashuvchidan ikkinchi issiqlik tashuvchiga issiqlikni uzatib berish uchun mo'ljallangan qurilma *issiqlik almashinuv qurilmasi* deb ataladi. Demak, issiqlik almashinuv qurilmasi (issiqlik almashtirgich) ikki yoki bir nechta issiqlik tashuvchilar (moddalar) orasida issiqlik almashinuv olib boriladigan qurilmadir.

Ikki yoki bir nechta moddalar o'rtasida massa almashinuv olib boriladigan qurilmalarga *massa almashinuv qurilmalari* deyiladi. Qurilmalarda bir vaqtning o'zida issiqlik va massa almashinuv sodir bo'lsa, bunday qurilmalar *issiqlik va massa almashinuv qurilmalari* deyiladi. Ularda issiqlik uzatilishi gazsimon, suyuq va qattiq moddalarning fazaviy va kimyoviy o'zgarishlari hisobiga konvektiv, konduktiv va nurlanish orqali amalga oshirilishi mumkin. Issiqlik almashinuvida yoki ko'proq qizdirilgan jism va moddalardan kamroq qizdirilganlariga issiqlikni uzatish uchun qo'llaniladigan harakatlanuvchi moddalar *issiqlik tashuvchilar* deb ataladi.

Qurilmalar issiqlik tashuvchi muhitlarning harakat yo'nalishiga ko'ra-to'g'ri, qarama-qarshi, kesishgan va murakkab oqimli turlarga bo'linadi. Issiqlik va massa almashinuv jarayonida ishtirok etayotgan issiq va sovuq issiqlik tashuvchilar qizdirish yuzasi bo'yicha bir tomonga harakatlansa to'g'ri oqimli, qarama-qarshi tomonga harakatlansa qarama-qarshi oqimli, o'zaro kesishuvchi bo'lsa kesishgan oqimli, agar biror oqim o'z harakatini o'zgartirsa bunday oqimga murakkab oqimli deb yuritiladi.

Issiqlik va massa almashinuv qurilmasida issiqlik tashuvchi o'z harakat yo'nalishini o'zgartirmasdan o'tgan masofasi *yo'l* deb ataladi. Issiqlik va massa almashinuv qurilmalarida oqimlardan birortasi yo'nalishini 1, 2, 3 ...  $n$  marta o'zgartirsa, u holda 2, 3, 4 va  $(n+1)$  yo'lli qurilma deyiladi. Agar qurilmada ikkita oqim o'rtasida issiqlik va massa almashinuvi sodir bo'lsa, u ikki oqimli, agar uchta oqim bo'lsa uch oqimli deb yuritiladi.

*Issiqlik tashuvchilarning turi bo'yicha* issiqlik almashinuv qurilmalari quyidagilarga ajratiladi: suyuqlik-suyuqlik; bug'-suyuqlik; bug'-bug'; bug'-gaz; gaz-gaz.

*Issiqlik tashuvchilarning agregat holatini o'zgarishiga bog'liq* holda issiqlik almashinuv qurilmalari quyidagicha: agregat holati o'zgarmaydigan; bir issiqlik tashuvchining agregat holati o'zgaruvchan; ikkala issiqlik tashuvchining ham agregat holati o'zgaruvchan.

Issiqlik tashuvchilarning harakat tavsifiga ko'ra issiqlik almashinuv qurilmasining issiqlik uzatish yuzasi uchta turga bo'linadi: tabiiy sirkulyatsiyali; majburiy sirkulyatsiyali; suyuqlikni gravitatsiya kuchi ta'siri ostidagi harakati.

*Issiqlik rejimining turiga* bog'liq holda issiqlik almashinuv qurilmalaridagi issiqlik almashinuv jarayoni *barqaror* va *nobarqaror* bo'lishi mumkin. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalari asosan o'rnatilgan barqaror rejimda ishlaydi, regenerativ qurilmalar esa nobarqaror rejimda.

### 1.5. Issiqlik almashinuv va issiqlik-massa almashinuv qurilmalari.

Issiqlik almashinuv qurilmalari maqsadi, ishlash prinsipi, issiqlik tashuvchilarni fazaviy holati, konstruktiv va boshqa belgilariga ko'ra farqlanadi.

Issiqlik almashinuv qurilmalari ishlatilish maqsadiga ko'ra qizdirgichlar, bug'latgichlar, kondensatorlar, sovitgichlar, radiatorlar deb yuritiladi. Issiqlik va massa almashinuv qurilmalariga quyidagilarni kiritish mumkin: havoni quritish, namlantirish va uni zaharli chang va gazlardan tozalash uchun qo'llaniladigan skrubberlar, rektifikatsiya (ajratish) kolonnalari, absorbsion sovitish qurilmalarining absorberlari, quritish kameralari, suvni sovituvchi gradirniyalar va hok. Alohida guruhga kimyoviy reaktorlarni kiritish mumkin. Ularda kimyoviy reaksiya issiqlik va massa almashinuv bilan kechadi.

Ishlash prinsipiga ko'ra *yuzali* va *kontaktli* qurilmalarga bo'linadi. Yuzaviy issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik yuqori haroratli muhitdan qattiq devorga (nasadka), undan esa-sovuq muhitga uzatiladi. Kontaktli qurilmalarda (1.1, d-rasm) issiqlik almashinuvi issiqlik tashuvchilarning o'zaro to'qnashuvida amalga oshadi, bunda massa uzatilishi ham kuzatiladi. Boshqa turdagi kontaktli qurilmalarda, masalan aralashtirgichlarda, issiqlik tashuvchilarning oqimini qisman yoki to'liq aralashishi sodir bo'ladi.

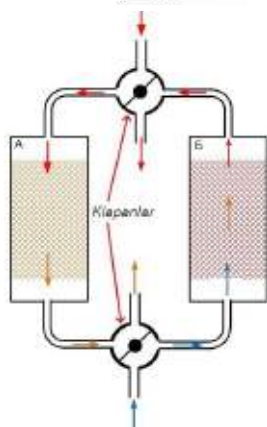
Issiqlik almashinuvi amalga oshirilayotgan qattiq devorning yuzasi va to'qnashayotgan (kontaktlashayotgan) muhitlarning o'zaro ajralish chegaralari *issiqlik almashinuv yuzasi* yoki *qizdirish yuzasi* deyiladi, agarda issiqlik almashinuvi massa uzatish bilan kechsa, unda *issiqlik va massa almashinuv yuzasi* deyiladi.



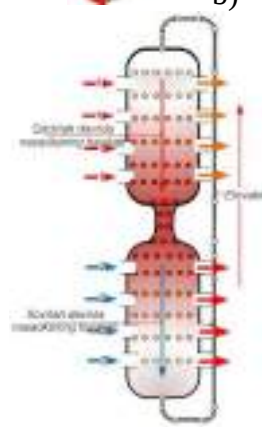
a)



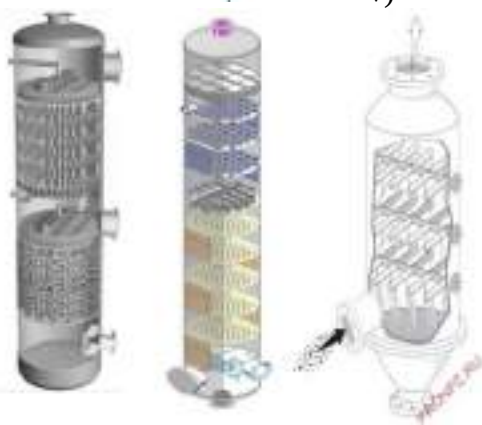
b)



v)



g)



d)

#### 1.1-rasm. Rekuperativ, regenerativ va kontaktli issiqlik almashinuv qurilmalari:

*a*-rekuperativ uzluksiz ishlaydigan;  
*b*-rekuperativ davriy ravishda ishlaydigan; *v*-regenerativ davriy ravishda ishlaydigan; *g*-regenerativ uzluksiz ishlaydigan; *d*-kontaktli qurilma.

#### Mustaqil ishlash uchun nazorat savollari.

1. Issiqlik almashinuv xodisasini tushuntiring.
2. Rekuperativ qurilmadan regenerativ qurilmaning farqi nimada?

3. Sanoat korxonalarida asosan qaysi turdagi issiqlik almashinuv qurilmalari qo'llaniladi?
4. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring?
5. Regenerativ issiqlik almashinuv qurilmasining ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Issiqlik va massa almashinuv jarayonini tushuntiring?
7. Issiqlik almashinuv va issiqlik-massa almashinuv jarayonlarining farqi nimada?
8. Yuqori, o'rta va past haroratli issiqlik almashinuv qurilmalari haqida ma'lumot bering?
9. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasi haqida ma'lumot bering?
10. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasi qayerlarda qo'llaniladi?

## 2-MA'RUZA

## ISSIQLIK VA SOVUQLIK TASHUVCHILAR.

### 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

#### ***Ma'ruza rejasi:***

- 2.1. Issiqlik tashuvchilarning xususiyati va tasniflanishi.
- 2.2. Yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar.
- 2.2. Ko'p komponentli issiqlik tashuvchilar.
- 2.4. Sovuqlik tashuvchilar va sovitish agentlari.
- 2.5. Issiqlik tashuvchilarning oqim sxemalari.

#### ***Mashg'ulotning maqsadi:***

Issiqlik va sovuqlik tashuvchilar to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

#### ***Talabning o'quv faoliyati natijalari:***

- issiqlik tashuvchilarning xususiyati va tasniflanishi to'g'risida tushunchalar beriladi;
- yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- sovuqlik tashuvchilar va sovitish agentlari to'g'risida tushunchalar beriladi;
- ko'p komponentli issiqlik tashuvchilar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- issiqlik tashuvchilarning oqim sxemalari to'g'risida tushunchalar beriladi

***Nazorat shakli:*** Og'zaki nazorat: savol-javob

***Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball:*** \_\_\_\_\_

***O'qituvchi imzosi:*** \_\_\_\_\_

**Tayanch iboralar:** issiqlik tashuvchi, sovuqlik tashuvchi, qattiq, suyuq, gazsimon issiqlik tashuvchilar, quritish va sovitish agentlari, plazma, ionlashgan gazlar, bug', nam havo, tutun gazi.

### **2.1. Issiqlik tashuvchilarning xususiyati va tasniflanishi.**

Issiqlik tashuvchilar o'zining maqsadi, agregat holati, ishchi harorati va bosim ko'lamlari bo'yicha tasniflanadi.

Issiqlik tashuvchilar *maqsadi* bo'yicha qizdiruvchi, sovituvchi yoki sovuqlik tashuvchi, oraliq issiqlik va sovuqlik tashuvchilar, xladoagent (sovitish sikllarida ishchi jism), qurituvchi agent va hokazolarga bo'linadi. Agregat holati bo'yicha *bir fazali* va *ko'p fazali* (ko'pincha ikki fazali) issiqlik tashuvchilarga bo'linadi. *Bir fazali* issiqlik tashuvchilarga past haroratli plazma (alanga); gazlar, kondensatsiyalanmaydigan bug'lar, gaz va kondensatsiyalanmaydigan aralashmalar; ishchi bosimlarda qaynamaydigan va bug'lanmaydigan suyuqliklar, ularning aralashmasi, eritmalar; qattiq moddalar (ko'pincha donador) kiradi. *Ikki va ko'p fazali* issiqlik tashuvchilarga qaynovchi va bug'lanuvchi va gaz bilan purkaluvchi suyuqliklar, kondensatsiyalanadigan bug'lar, tarkibida kondensatsiyalanadigan bug' bo'lgan bug'-gaz aralashmalar, eriyotgan va qotayotgan (qattiq moddani bevosita bug'ga aylantirish, sublimasiyalanuvchi) va desublimasiyalanuvchi qattiq moddalar, ko'piklar, aeroxollar, donador moddali

gazlar va boshqa gazli chang oqimlari; emulsiyalar, suspenziyalar, quyqa, pasta va boshqa murakkab reologik tizimlar kiradi.

Ishchi haroratlari bo'yicha *yuqori, o'rta, past va kriogen haroratli* issiqlik tashuvchilarga bo'linadi. *Yuqori haroratli* gazsimon issiqlik tashuvchilarga tutun va yonish gazlari kiritiladi. Ularning harorati 1500°C gacha yetishi mumkin. Tomchili suyuqlik shaklidagi yuqori haroratli issiqlik tashuvchilarga atmosfera bosimida qaynash harorati 200°C dan yuqori moddalarni kiritish qabul qilingan. Ularga mineral moylar, kremniy organik va difenil birikmalar, tuzlarning eritmaları va suyuq metallar kiradi.

*O'rta haroratli* issiqlik tashuvchilarga birinchi navbatda suv bug'i, suv va havo kiritiladi. Bug' 650°C gacha haroratlarda, suv 375°C gacha, havo 100°C gacha haroratlarda foydalaniladi. *Past haroratli* issiqlik tashuvchilarga, odatda bosim 0,1 MPa bo'lganda qaynash harorati 0°C dan oshmaydigan issiqlik tashuvchilarni kiritish mumkin. Ularga birinchi navbatda sovitish agentlari kiradi. Kriogen issiqlik tashuvchilarga suyultirilgan gazlar (kislrod, vodorod, azot, havo va boshqalar) va ularning bug'lari kiritiladi. Ular -150°C dan past haroratlarda ishlovchi sohalarida qo'llaniladi.

Issiqlik almashinuv qurilmalarida, issiqlik texnologik va energetik qurilmalarda qo'llaniladigan issiqlik tashuvchilar agregat holati bo'yicha *qattiq, suyuq va gazsimon* turlarga bo'linadi.

*Qattiq issiqlik tashuvchilar* 8 – 12 mm diametrli sharik shaklida va undan kichik po'lat, choyan, keramzit, karbound, kaolin, alyumin oksidi, magniylarning mayda bo'laklaridan tayyorlangan bo'lib, ular yuqori haroratli qayta ishlash jarayonlarida, metallurgiya va boshqa sanoat sohalarida gazlarni qizdirish, suv bug'ini va harorati 1000-2000°C gacha bo'lgan organik suyuqliklar bug'ini qizdirish uchun qo'llaniladi.

*Suyuq issiqlik tashuvchilar* juda xilma xildir. Ularga suv, mineral moylar, definil, definil efir, definil aralashmasi, kremniy organik birikmalari, metal eritmaları, qotishmalar va tuzlarni (simob, litiy, kaliy, natriy va boshqalar) kiritish mumkin.

*Gazsimon issiqlik tashuvchilar* asosan texnikada keng qo'llaniladi. Ularga quyidagi issiqlik tashuvchilar kiradi: havo, tutun gazlari, azot, is gazi, oltingugurt ikki oksidi, vodorod, geliy, suv bug'lari va boshqa moddalar. 2000°C dan yuqori haroratlarda *past haroratli plazma* qo'llaniladi.

Harorat atrof-muhitnikidan, ya'ni 0°C dan past bo'lganda *sovuqlik tashuvchilar va sovuqlik agentlari* (ishqorli metallar tuzlarining suvli eritmaları, ammiak, uglevodorodlar, xladon va boshqalar), juda past haroratlarda esa-*kriogen suyuqliklar* (suyuq azot, kislrod, havo, vodorod, geliy) qo'llaniladi.

Yoqilg'ini yoqish natijasida hosil bo'lgan *tutun gazlari* yuqori haroratlarga (700°C va yuqori) qizdirish uchun qo'llaniladi. Ammo issiqlik berish koeffitsiyenti va hajmiy solishtirma issiqlik sig'imi kichikligi, rostlash va uzoqqa uzatish qiyinligi o'txona tutun gazlarini issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik tashuvchilar sifatida qo'llashni cheklaydi.

*Elektr energiyasi* ham texnologik jarayonlarda moddalarni qizdirish uchun qo'llaniladi. Elektr yordamida qizdirish jarayoni bir xilligi, rostlash osonligi va yuqori haroratni (2000°C gacha va undan yuqori) ta'minlash imkoniyati bilan farqlanadi.

Issiqlik tashuvchilarning issiqlik-fizik xususiyatiga quyidagilar kiradi: zichlik, issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik, bug' hosil bo'lish issiqligi, qaynash, erish harorati va qovushqoqlik.

*Zichlik* eng muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Zichligi yuqori bo'lgan issiqlik tashuvchilar haroratlari farqi ancha kichik bo'lganda ham ko'p miqdorda issiqlik uzatish imkonini beradi. Ular uchun o'tish kesimlari katta bo'lgan kanalli moslama va uzatish quvurlari talab etilmaydi, ularni saqlash uchun katta sig'imler shart emas.

*Issiqlik sig'imi* yuqori bo'lgan issiqlik tashuvchilar kam miqdordagi massada ham ko'p miqdordagi issiqlikni akkumulyasiyalaydi, bu issiqlik tashuvchilar sarfini anchagina kamaytiradi, ularni tashish uchun energiya sarfi qisqaradi, uzatish quvurlari va ularni saqlash uchun sig'im harajatlari kamayadi.

Issiqlik tashuvchilarning *issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti* issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik berish koeffitsiyentiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bir xil sharoitda issiqlik tashuvchilarning issiqlik o'tkazuvchanligi qancha yuqori bo'lsa, issiqlik almashinuv qurilmalarining kanallarida issiqlik berish shuncha yuqori bo'ladi.

*Bug' hosil bo'lish (bug'lanish) issiqligi* fazaviy o'zgarishli issiqlik almashinuvida qaynash yoki kondensatsiyalanish jarayonida muhim ahamiyatga ega, uning qiymati issiqlik tashuvchining sarfini aniqlaydi, fazaviy o'zgarishlarda haroratni o'zgartirish imkonini beradi.

*Qaynash harorati* yuqori bo'lgan issiqlik tashuvchilar qaynash harorati ortishi bilan toyingan bug'larning bosimi sekin oshadi. Issiqlik almashinuv qurilmalaridagi bug'larning kichik bosimi qurilmalarning yupqa devorli bo'lishiga olib keladi, issiqlik almashinuv qurilmalarini arzonlashtiradi va yengillashtiradi, arzon konstruktiv materiallarni keng qo'llash imkonini beradi, shuningdek qurilmalarda germiteklikni ta'minlashni osonlashtiradi.

Issiqlik tashuvchilarnin *erish harorati* kichik bo'lishi kerak, ya'ni atrof-muhit haroratida issiqlik tashuvchilar muzlab qolmasligi kerak, shuningdek issiqlik almashinuv qurilmasida to'xtab qolganda suyuq holatda qolishi kerak. Agar issiqlik tashuvchilarning *erish harorati* 20°C dan oshsa, barcha texnologik tizimlar to'xtaganda issiqlik tashuvchi qattiq holatda muzlab qolishi mumkin. Ushbu tizimlarning ekspluatatsiyasi maxsus qizdiruvchi qurilmalar bilan jihozlanishi kerak.

*Qovushqoqlik* issiqlik tashuvchining kimyoviy tabiatiga, bosimiga va haroratiga bog'liq. U issiqlik almashinuvi va gidravlik qarshilikka sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bir xil sharoitda qovushqoqlik yuqori bo'lganda suyuqlik oqim rejimi laminardan turbulentga o'tib ketishi mumkin. Qovushqoqlik haroratga kuchli bog'liq va harorat ortishi bilan qovushqoqlik pasayadi.

Issiqlik tashuvchilar quyidagi talablarni qanoatlantirishi kerak:

- kimyoviy barqaror bo'lishi, issiqlik almashinuv qurilmasi materiali bilan o'zaro ta'sirlashmasligi kerak, boshqa issiqlik tashuvchilar bilan o'zaro ta'sirlashganda portlovchi aralashmalar hosil qilmasligi kerak;

- issiqlik almashinuv qurilmasida issiqlik almashinuvini yetarlicha ta'minlashi, yuqori issiqlik sig'imiga va kam qovushqoqlikka ega bo'lishi kerak;

- yetarlicha issiqlikka bardoshli bo'lishi kerak;

- issiqlik tashuvchilar ko'p va arzon bo'lishi kerak;

- kimyoviy zaharliligi kam bo'lishi kerak;

- qaynash va alangalanish harorati yuqori bo'lishi kerak;

- tashishda, saqlashda va ishlatishda qulay va xavfsiz bo'lishi kerak.

## **2.2. Yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar.**

Yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar ham suyuq ham bug'simon holatda haroratning -47°C dan taxminan 400°C gacha qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda bunday moddalarning ko'pginasi ma'lum, ularning *erish harorati* nisbatan past, *qaynash harorati* esa atmosfera bosimida ham bir necha yuz graduslarni tashkil etadi.

Yuqori haroratlargagacha qizdirishda qurilmani qiyinlashtirmasdan suv bug'ining o'rniga *yuqori haroratli organik suyuqliklarning* (YUHOS) bug'laridan foydalanish mumkin. YUHOS sifatida etilenglikol, glitserin, naftalin, difenil, polifenol, difenil aralashmalar ishlatiladi.

*Ditolilmetan (DTM)* – eng ko'p tarqalgan yuqori haroratli issiqlik tashuvchi hisoblanadi, u ham suyuq ham bug' holatida bo'lib, uning ishchi harorati +15...+350°C oralig'ida. Ditolilmetandan odatda 280°C haroratgacha suyuqlik sifatida foydalaniladi, chunki uning bug'lari zaharli hisoblanadi.

*Ikki tarkibli naftalin aralashmasi* – evtektikaviy binar aralashma bo'lib, tarkibi 15% naftalin va 85% difenil efir. Haroratning ishchi oraliqlari 12°C dan 320°C gacha. Naftalinni termik parchalanish harorati 320°C.

*Uch tarkibli naftalin aralashmasi* – evtektikaviy uch komponentli aralashma bo'lib, tarkibi 15% naftalin, 25,5% difenil va 59,5% difenil efir. Haroratning ishchi oraliqlari 12°C dan 320°C gacha.

Amaliyotda yuqori haroratlarda parchalanmaydigan issiqlik tashuvchilar sifatida *yuqori haroratli metal bug'laridan* ham foydalaniladi. Bunday issiqlik tashuvchilarga kaliy, litiy, kadmiy, qo'rg'oshin va simob bug'larini kiritish mumkin. Ular yordamida nisbatan past bosimlarda ham 400°C haroratgacha qizdirishni ta'minlash mumkin.

*Mineral moy* eng keng tarqalgan va o'rganilgan organik issiqlik tashuvchilar sirasiga kiradi va 200°C haroratgacha qo'llaniladi. Moyli issiqlik tashuvchilarning asosiy afzalliklari ularning narxi nisbatan arzon, kam zaharli va ishlatishda qulay. Bundan tashqari, barcha moylarning bug'lari kam egiluvchanlikka ega. Neftni moyli fraksiyalarini qayta ishlash orqali olingan mineral moylar asosan yuqori molekulali uglevodorodlardan iborat bo'ladi. Moylarning ishlab chiqarilayotgan navlari asosan neft aromatli birikmalardan iborat. Moyni issiqlik tashuvchi sifatida tanlashda aromatik birikmalardan iborat bo'lgan va oksidlanish jarayonlarida ishtirok etmaydigan navi tanlanadi. Moyning muhim ko'rsatkichlaridan biri bu-birdan yonish harorati bo'lib, u 220...300°C ni tashkil etadi. Moy issiqlik almashinuv qurilmalarida 200°C dan yuqori haroratlarda uzoq vaqt ishlaganda moyni qisman

parchalanishi sodir bo'ladi, bu qizdirish yuzasini smolalashuviga va issiqlik almashinuvini yomonlashuviga olib keladi.

*Aromatlangan AMT-300 mineral moyi* eng keng tarqalgan, ular haroratning 20...280°C oralig'ida va tizimdan ajralgan gazsimon mahsulotlarni uzluksiz olib ketish mumkin bo'lgan sharoitda qo'llaniladi. Hozirda boshqa markadagi moylarni issiqlik almashinuv qurilmalarida qo'llash bo'yicha tadqiqot ishlari olib borilmoqda. 0...300°C harorat oralig'ida ИС-2 va ИС-45 markali sanoat moylarini qo'llash tavsiya etiladi.

*Kremniyorganik birikmalar* ham yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar sifatida qo'llaniladi. Ularning ichida eng issiqbardoshi og'ir efirlar, ortokremniy kislotasi va uning aralashmalari hisoblanadi. Kremniy organik birikmalarining qaynash harorati 410...440°C. Sanoatda keng qo'llaniladigan kremniy organik birikmalarning sinfiga tetrasiklenoksilan (TKC), ПΦМС-va ПΦМС-6 hamda №2 va 3 silikon markalarining birikmalari kiritiladi, ular 300...320°C haroratgacha qo'llaniladi. Kremniy organik birikmalar olinadigan difenok-sidikrezoksilan (T-12) ning narxi nisbatan arzon. Ushbu issiqlik tashuvchi 18...+350°C haroratlarda qo'llanilishi mumkin.

*Noorganik tuzlar* toza holda yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar sifatida foydanilmaydi. Shuning uchun ularning bir nechta aralashmalari, ya'ni NaNO<sub>2</sub> (40%), NaNO<sub>3</sub> (7%), KNO<sub>3</sub> (53%) dan tashkil topgan nitrit-nitratli aralashmalar qo'llaniladi, ularning erish harorati 142°C. Ushbu issiqlik tashuvchi haroratning 150...550°C oralig'ida qo'llaniladi. U arzonligi bilan farqlanadi, ammo uning asosiy kamchiligi alangalanish harorati yuqori, bu esa qizdirish qurilmalarini ekspluatatsiyasini qiyinlashtiradi. Harorat 800°C dan oshganda nitrit-nitrat aralashmasi issiqlik ta'sirida parchalanadi, uni havo va suv bug'i bilan to'qnashuvidan himoyalash kerak.

## **2.2. Ko'p komponentli issiqlik tashuvchilar.**

*Ikki komponentli issiqlik tashuvchilar.* Texnologik qurilmalarda issiqlik almashinuvini jadallashtirish uchun kichik qattiq jisimli qo'zg'almas nasadkalar qo'llaniladi, nasadkalar orqali sovituvchi yoki qizdiruvchi muhit harakatlanadi. Shuning uchun qo'zg'almas nasadka issiqlik almashinuvida ishtirok etuvchi ikkinchi komponent hisoblanadi.

Sanoatda issiqlik almashinuv qurilmalari, quritish qurilmalari, reaktorlar va boshqa turdagi qattiq nasadkali harakatlanuvchan aralashuvchi qurilmalarda *changlangan oqimlar* qo'llaniladi. Changlangan oqimlarda turbulentli chegara qatlami hosil bo'ladi, natijada qo'zg'almas nasadkaga qaraganda oqimning kichik tezliklarida ham issiqlik almashinuvi jadallashadi.

Issiqlik-massa almashinuvi jarayonlari va qurilmalari mavjud ishlab chiqarish amaliyotida uch komponentli issiqlik tashuvchilar ham qo'llaniladi.

*Uch komponentli changlangan oqimli reaktorni* misol keltiramiz. Reaktor vodorod va uglerod oksidini to'g'ridan-to'g'ri sintez yo'li bilan sun'iy suyuq yoqilg'i olish uchun qo'llaniladi. Reaktorning pastki qismiga panjara ostidan gazsimon modda (vodorod va uglerod oksidi) kiritiladi. Panjarada joylashgan mayda donador katalizator (kimyoviy reaksiyani tezdashtiruvchi modda) shishadi va mavhum qaynaydi. Mavhum qaynovchi katalizator bilan gazli aralashmada issiqlikni jadal uzatilishi natijasida benzin bug'larining sintezlanishi bilan aktiv ekzotermik reaksiya sodir bo'ladi. Sintetik benzinning bug'lari reaktorning sovituvchi yuzasi bilan to'qnashganda kondensatsiyalanadi, so'ngra qizdiruvchi bo'lakchalar bilan to'qnashishi natijasida benzin qaytadan bug'lanadi. Shuning uchun reaktordagi issiqlik tashuvchilar uch komponentli changlangan oqim-gazlar, benzin bug'lari va mayda donador katalizator hisoblanadi.

Ko'p komponentli organik issiqlik tashuvchilardan difenil aralashma (eng ko'p tarqalgan), gidroterfenillar va terfenil aralashmalardan foydalaniladi. Gidroterfenillar 10...350°C haroratlarda qo'llanishi mumkin, ammo ularning narxi ancha qimmat.

*Difenil aralashma* (73,5% difenil efir aralashmasi va 26,5% difenil) yuqori qaynash haroratiga ega suyuqlik bo'lib, uning atmosfera bosimidagi qaynash harorati 258°C ni tashkil etadi va o'zining xidi bilan ajralib turadi. Aralashmaning erish harorati 12,3°C. Aralashma zaharsiz, ammo portlashga xavfli va tez alangalanuvchi, suvda erimaydi. O't olish harorati 111°C, alangalanish harorati 121°C. Difenil aralashmadan 310°C haroratgacha suyuq va bug'simon holatda foydalaniladi.

Terfenil aralashmalardan *monoizopropilterfenilning* erish harorati -25...+7°C va qaynash harorati 346...374°C ni tashkil etadi. U amalda zaharsiz bo'lib, uning narxi ham ancha yuqori.

## 2.4. Sovuqlik tashuvchilar va sovitish agentlari.

Sovuqlik tashuvchilar – qotib qolish harorati past bo'lgan va sovitilayotgan xonadan yoki muhitdan sovitish qurilmalariga issiqlikni uzatish uchun mo'ljallangan suyuqliklar hisoblanadi. Ko'pincha kalsiy xlor  $CaCl_2$  (qotish harorati  $-55^{\circ}C$  gacha), natriy xlor  $NaCl$  (qotish harorati  $-21^{\circ}C$  gacha), etilenglikolning suvli eritmasi  $C_2H_6O_2$  (qotish harorati  $-65^{\circ}C$  gacha) kabi eritmalaridan, shuningdek qator yuqori qaynovchi xladonlardan foydalaniladi. Haroratning  $-50...+100^{\circ}C$  oraliqlarida fluor organik birikmalaridan  $FC$  va  $HC$  turidagi suyuqliklar eng ko'p qo'llaniladi.

Sovitish agentlari sovitish mashinalarining ishchi jismlari hisoblanadi va sovitish kondensatorlarida, bug'latgichlarida va boshqa issiqlik almashinuvi qurilmalarida issiqlik tashuvchi sifatida ishtirok etadi. Sovitish agenti barqaror bo'lishi, yonmaydigan va portashga xavfsiz, suv bilan yaxshi, moy bilan yomon aralashishi kerak, insonlarga xavfsiz bo'lishi kerak. Sovitish agentlari sifatida eng ko'p tarqalgan yengil qaynovchi moddalar, ammiak  $NH_3$ , xladon 12 va xladon 22.

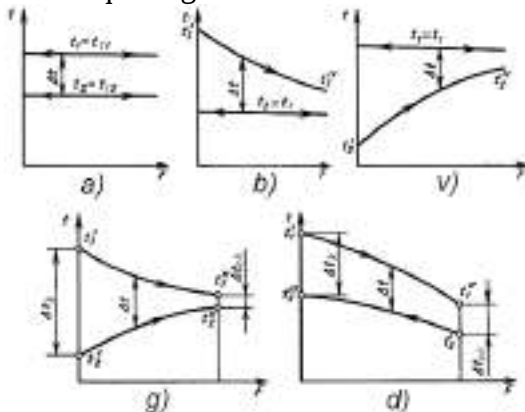
Ammiak ( $NH_3$ ) ning atmosfera bosimida qaynash harorati  $-33,4^{\circ}C$ . Ammiakni havo bilan aralashmasida ammiakning hajmiy ulushi  $11...14\%$  ga yetganda yonishi mumkin, hajmiy ulush  $16...27\%$  bo'lganda esa portlaydi. Harorat  $260^{\circ}C$  va undan oshganda ammiak parchalanadi. Namlangan ammiak rux, mis va uni aralashmalarini korroziyaga olib keladi. Suvning ammiakdagi massaviy ulushi  $0,2\%$  dan yuqori bo'lmasligi kerak. Ammiak zaharli, birdan bug'uvchi hidga ega, ammo narxi ancha arzon.

Xladon 12 ( $R12$ , diftordixlormetan  $CF_2Cl_2$ ) atmosfera bosimida qaynash harorati  $-29,8^{\circ}C$ , kritik harorati  $111,5^{\circ}C$ .  $R12$  bug'lari havodan 4,2 marta yengil va hidsiz. Xladon 12 portlashga xavfli emas, havoda yonmaydi, termik parchalanishi  $400^{\circ}C$  da sodir bo'ladi.  $R12$  dan boshqa barcha xladonlar barcha turdagi tirqishlar, shuningdek cho'yan teshikchalarining ichiga kirish qobiliyatiga ega. Bundan tashqari  $R12$  rangsiz va hidsiz bo'lib, uni tizimdan va issiqlik almashinuv qurilmasidan oqib ketishini aniqlash qiyin. U boshqa organik moddalar bilan juda yaxshi, ayniqsa rezina bilan yaxshi aralashadi.

Xladon 22 ( $R22$ , diftormonoxlormetan  $CHF_2Cl$ ) atmosfera bosimida qaynash harorati  $-40,8^{\circ}C$ , kritik harorati  $96^{\circ}C$ . Xladon 22 rangsiz, hidsiz, yonmaydigan, portlamaydigan,  $R12$  ga qaraganda kam zaharli. Yuqori haroratlarda moyda yaxshi eriydi.  $R22$  suvda  $R12$  ga qaraganda yaxshi eriydi. Metallarga nisbatan kam faol. Qaynash harorati  $-80^{\circ}C$  va kondensatsiyalanish harorati  $40...45^{\circ}C$  bo'lgan xladon 22 yirik, o'rta va kichik quvvatli sovitish qurilmalarida keng qo'llaniladi.

## 2.5. Issiqlik tashuvchilarning oqim sxemalari.

Issiqlik tashuvchilarning oqim sxemalari bo'yicha rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini uchta guruhga ajratish mumkin: ikkala issiqlik tashuvchining haroratlari o'zgarmas ( $t_1$  va  $t_2$ ) va bir xil haroratli  $t_{t1}$  va  $t_{t2}$  (2.1, a-rasm), masalan alohida moddalar uchun kondensator-bug'latgichlar; bir issiqlik tashuvchining harorati o'zgarmas (2.1, b-rasm), masalan, alohida moddalarning kondensator va bug'latgichlari; ikkala issiqlik tashuvchining ham haroratlari o'zgaruvchan (2.1, g va d-rasmlar). Issiqlik tashuvchilar oqimlarining o'zaro yo'nalishiga bog'liq holda so'nngi guruhdagi issiqlik almashinuv qurilmalari keng tarqalgan va ular o'z navbatida to'g'ri oqimli, tesqari oqimli, kesishuvchan oqimli, aralash oqimli va murakkab sxemali oqimlarga bo'linadi.



2.1-rasm. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik tashuvchilarning haroratlari o'zgarishi:

a-ikkala issiqlik tashuvchi ham fazaviy o'zgarishlarda (biri kondensatsiyalanadi, ikkinchisi bug'lanadi); b-qizdiruvchi issiqlik tashuvchi bug'langanda; v-qizdiruvchi issiqlik tashuvchi kondensatsiyalanganda;

*g*-issiqlik tashuvchilarning fazaviy o'zgarishlarsiz to'g'ri oqimli harakatlanishida; *d*-issiqlik tashuvchilarning fazaviy o'zgarishlarsiz teskari oqimli harakatlanishida.

Bir karrali va ko'p karrali kesishuvchan oqimli issiqlik almashinuv qurilmalarining kesimida haroratlar gradienti mavjudligiga bog'liq holda ularni uchta guruhga ajratish mumkin. Masalan, suyuqlik quvur ichidan oqib o'tsa, gazsimon issiqlik tashuvchi esa quvurlar to'plamiga perpendikulyar harakatlansa va quvurlaro bo'shliqda erkin aralashsa, u holda uning kesimdagi harorati gaz harakati yo'nalishida normallasadi va tenglashadi. Madomiki, suyuqlik quvurlar ichidan oqim bilan aralashmasdan alohida oqib o'tar ekan to'plam kesimida doimo harorat gradienti joyi bo'ladi. Ko'rib o'tilgan misolda gazsimon issiqlik tashuvchi ideal aralashgan, suyuqlik esa aralashmagan hisoblanadi. Ushbu nuqtai nazardan quyidagi uchta hol bo'lishi mumkin: ikkala issiqlik tashuvchi ideal aralashadi va ko'ndalang kesimda ularning orasidagi haroratlar gradienti nolga teng bo'ladi; bir issiqlik tashuvchi yaxshi aralashadi, ikkinchisi esa aralashmaydi; ikkala issiqlik tashuvchi ham umuman aralashmaydi.

Issiqlik tashuvchilarning agregat holatlari o'zgarmaganda ishlovchi issiqlik almashinuv qurilmalarida bir xil holatda eng ko'p issiqlik oqimi teskari oqimli sxemada uzatiladi, to'g'ri oqimlida esa kamroq. Ushbu belgi bo'yicha qolgan oqim sxemalari oraliqda hisoblanadi.

Regenerativ issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik almashinuvi ikkita sxema-to'g'ri va teskari oqim bo'yicha amalga oshiriladi. Issiqlik tashuvchilarning teskari oqimida moslamaning samaradorligi to'g'ri oqimli sxemaga nisbatan yuqori. Teskari oqimli regenerativ qurilmalarning samaradorligi rekuperativ qurilmalarga nisbatan yuqori.

#### ***Nazorat savollari.***

1. Issiqlik tashuvchilar haqida ma'lumot bering?
2. Qizdiruvchi issiqlik tashuvchilarga misol keltiring?
2. Sovituvchi issiqlik tashuvchilarga misol keltiring?
4. Sovuqlik tashuvchilarga misol keltiring?
5. Sovituvchi agent nima?
6. Qurituvchi agent nima?
7. Yuqori haroratli issiqlik tashuvchilar qayerlarda qo'llaniladi?
8. O'rta haroratli issiqlik tashuvchilar qayerlarda qo'llaniladi?
9. Past haroratli issiqlik tashuvchilar qayerlarda qo'llaniladi?
10. Kriogen haroratli issiqlik tashuvchilar qayerlarda qo'llaniladi?
11. Qattiq issiqlik tashuvchilarga qanday moddalar kiradi?
12. Suyuq issiqlik tashuvchilarga qanday moddalar kiradi?
12. Gazsimon issiqlik tashuvchilarga qanday moddalar kiradi?
14. Bir fazali issiqlik tashuvchilarga qanday moddalar kiradi?
15. Ko'p fazali issiqlik tashuvchilarga qanday moddalar kiradi?

### **3-MA'RUZA**

### **QUVURCHALI REKUPERATIV ISSIQLIK ALMASHINUV QURILMALARI (IAQ).**

#### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

|                                                                     |                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Ma'ruza rejasi:</i></b>                                       |                                                                                                |
| 3.1. Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari.               |                                                                                                |
| 3.2. Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmalari.                     |                                                                                                |
| 3.3. "Quvur ichida quvur" turidagi issiqlik almashinuv qurilmalari. |                                                                                                |
| 3.4. Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalari.                 |                                                                                                |
| 3.5. Lamelli issiqlik almashinuv qurilmalari.                       |                                                                                                |
| <b><i>Mashg'ulotning maqsadi:</i></b>                               | Quvurchali rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- "quvur ichida quvur" turidagi issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- lamelli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |
| <p><b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball: _____</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>O'qituvchi imzosi: _____</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>Tayanch iboralar:</b> qoplama, gaz, suyuqlik, issiqlik almashinuvi, rekuperativ, quvurchali, zmeevik, vint, qoplama quvur, kompensator, seksiya, lamel, plastina, gofr, prokat, spiral, paket.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### 3.1. Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari.

Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari hozirgi vaqtda sanoatda eng keng tarqalgan qurilmalar hisoblanadi. Ular quvurlar panjarasiga mahkamlangan quvurlar dastasi, qoplama, qopqoq, kichik quvurchalar, tayanchlardan tashkil topgan. Ushbu qurilmalar suyuqlik-suyuqlik, bug'-suyuqlik, gaz-suyuqlik, gaz-gaz issiqlik tashuvchilar bilan ishlash uchun mo'ljallangan.

Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasining qoplamasi (korpusi) silindr shaklida bo'lib, bir yoki bir nechta listlardan payvandlab yig'iladi. Bunday issiqlik almashinuv qurilmalari qoplama ichiga joylashgan quvurlar to'plamidan iborat bo'lib, quvurlarning uchi to'rlarga mahkamlangan bo'ladi. Qurilmaning yuqorigi va pastki qismlaridagi qopqoq flanets yordamida quvur to'riga birlashtiriladi. Yuqorigi va pastki qopqoqlarga isitilayotgan yoki sovutilayotgan agentlarni kiritish uchun shtutser mo'ljallangan. Bunday qurilmalarda isitiluvchi gaz yoki suyuqlik qopqoqdagi patrubka orqali bitta quvurdan kirib, o'sha quvurdan chiqib ketadi. Qoplama quvurli qurilmalarning quvurlar doskasi to'g'ri yoki egilgan (U-simon yoki W-simon) quvurlardan tayyorlanadi, quvurlarning tashqi diametri 10 dan 57 mm gacha bo'ladi.

Sanoat texnologik qurilmalarining qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarida odatda ichki diametri 10 dan 38 mm gacha bo'lgan quvurlar qo'llaniladi. Quvurlarning diametri oshganda issiqlik almashinuv qurilmasining ixchamligi kamayadi va uning metall sig'imi ortadi.

Quvurlar dastasining uzunligi 0,9 dan 5-6 m gacha oraliqda bo'ladi. Quvur devorining qalinligi 0,5 dan 2,5 mm gacha bo'ladi. 300 MVt quvvatli zamonaviy bug' turbinasi kondensatorida umumiy issiqlik uzatish yuzasi 15400 m<sup>2</sup> li 20000 dan ortiq quvur mavjud.

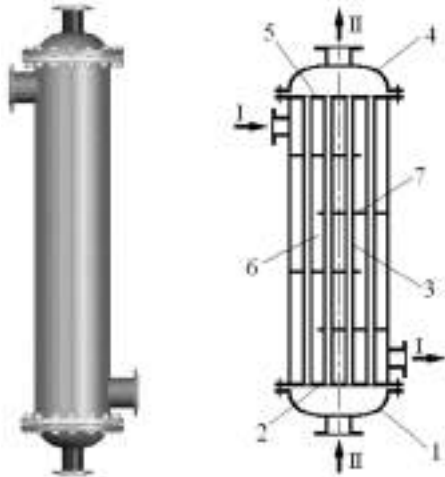
Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarining ish sharoitlari: bosim 6,4 MPa gacha, harorati -30°C dan +450°C gacha. Umumiy maqsadlar uchun tayyorlangan qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarning issiqlik almashinuv yuzasi 2000 m<sup>2</sup> gacha yetadi. Qobig'ining tashqi diametri 159-426 mm bo'lgan qurilmalar standartlashtirilgan quvurlardan tayyorlanadi. Qobig'ining diametri 400 mm dan katta bo'lgan issiqlik almashinuv qurilmalari uglerodli va zanglamaydigan po'lat listlardan payvandlash yo'li bilan tayyorlanadi.

Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarida yuqori issiqlik berish koefitsientiga erishish uchun issiqlik tashuvchi agentlarning tezligi ancha katta bo'lishi kerak: gazlar uchun 8 – 30 m/s, suyuqliklar uchun eng kami bilan 1,5 m/s.

3.1 va 3.2-rasmlarda vertikal va gorizontal bir yo'lli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari ko'rsatilgan. Issiq issiqlik tashuvchi doimo qurilmaning yuqori qismidan va sovuq issiqlik tashuvchi esa qurilmaning pastki qismidan quvurlar ichiga beriladi. Masalan, bug' o'z issiqligini berib sovishi natijasida uning zichligi oshib, pastga qarab harakatlanadi. Bundan tashqari issiqlik tashuvchilarning bu yo'nalishida tezligi bir xil taqsimlanib, qurilmaning ko'ndalang kesimida issiqlik almashinuvi o'zgarmas bo'ladi.

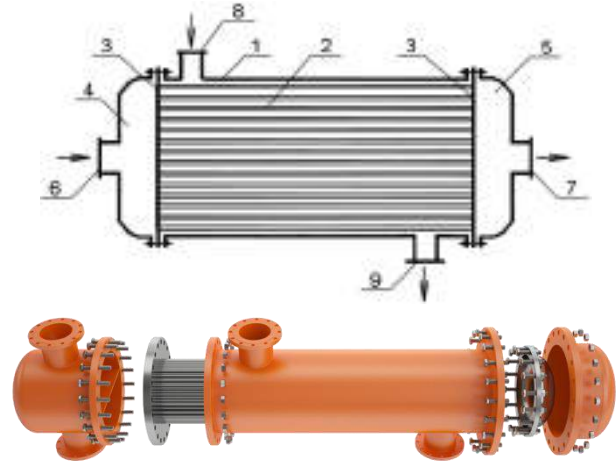
Sovuq issiqlik tashuvchi II pastki qopqoqdagi 1 shtuser orqali pastki qopqoq 1 va pastki quvurlar panjarasi 2 yordamida hosil qilingan kirish kamerasiga kiritiladi. Kirish kamerasidagi issiqlik tashuvchilarning oqimi quvurlar 3 bo'yicha taqsimlanadi va ular orqali harakatlanib yuqori kamera 4 va yuqori quvurlar panjarasi 5 yordamida hosil qilingan yuqori kamera tushadi hamda qurilmani qopqoqdagi shtuser orqali tark etadi. Issiq issiqlik tashuvchi I quvurlararo bo'shliqqa 6 kiritiladi, u yerda

yuqoridan pastga harakatlanadi va quvurlarni yuvadi. Quvurlararo bo'shliqda segmentli to'siqlar 7 o'rnatilgan bo'lib, issiqlik tashuvchilar oqimini turbilazatsiyalaydi.



**3.1-rasm. Vertikal bir yo'lli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi:**

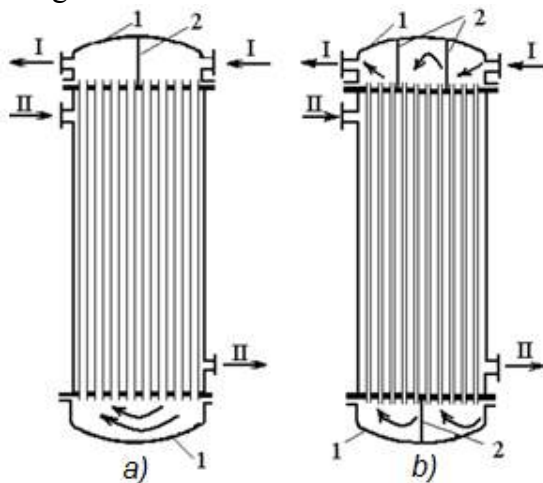
1-pastki qopqoq; 2-pastki quvurlar panjarasi; 3-quvurlar; 4-qopqoq; 5-yuqori quvurlar panjarasi; 6-quvurlararo bo'shliq; 7-segmentli to'siqlar; I, II – issiqlik tashuvchilar.



**3.2-rasm. Gorizontal bir yo'lli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi:**

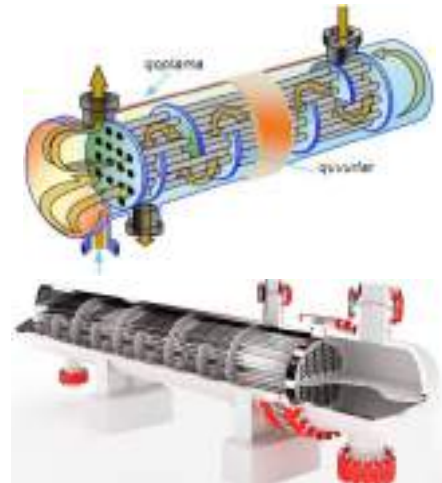
1-qoplama; 2-quvur; 3-quvurlar panjarasi; 4-old taqsimlash kamerasi; 5-orqa taqsimlash kamerasi; 6, 7, 8, 9-issiqlik tashuvchilarni kirish va chiqishi uchun shtutserlar.

Issiqlik tashuvchining tezligini oshirish uchun ko'p yo'lli qurilmalar qo'llaniladi. Ko'p yo'lli qurilmalar quvurlar bo'shlig'i va quvurlararo bo'shlig'i bo'yicha yo'llar soniga ko'ra tayyorlanadi. 3.3-rasmda quvurlar bo'shlig'i bo'yicha ko'p yo'lli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari ko'rsatilgan.



**3.3-rasm. Ko'p yo'lli issiqlik almashinuv qurilmasi:**

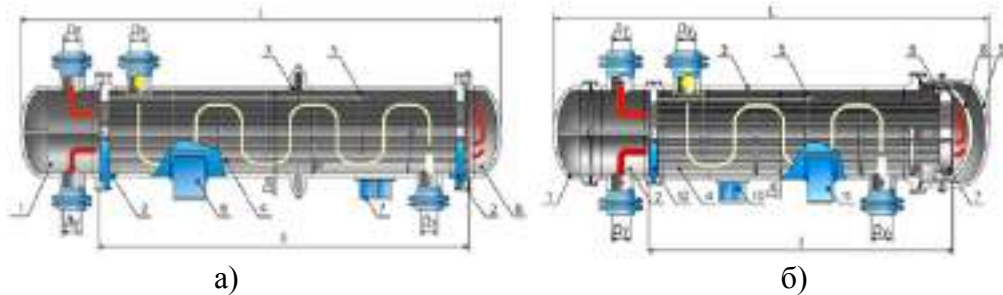
a-ikki yo'lli; b-to'rt yo'lli; 1-qopqoqlar; 2-to'siqlar; I, II-issiqlik tashuvchilar.



Qizdiruvchi va qiziyotgan muhitning haroratlari har xil bo'lgani uchun ishlayotgan qurilmaning qoplama va quvuri ham har xil haroratga ega bo'ladi. Qoplama va quvur haroratlarining farqi natijasida hosil bo'luvchi kuchlanishni to'ldirish uchun linzali kompensatorlar, U va W-simon quvurlar, Fild quvurlari, suzuvchan kamerali issiqlik almashinuvi qurilmalari va salnikli zichlagichlar qo'llaniladi (3.4-rasm).

Qoplama quvurli issiqlik almashinuvi qurilmalarida qobiq bilan quvurlar orasidagi haroratning farqiga qarab quvur va qoplamaning uzayishi har xil bo'ladi. Shuning uchun qoplama quvurli issiqlik almashinuvi qurilmalari konstruksiyasiga ko'ra ikki xil bo'ladi: 1) qo'zg'almas to'rtli issiqlik almashinuvi qurilmalari; 2) kompensatsiyalovchi qurilmali issiqlik almashinuvi qurilmalari.

U-simon quvurli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik ta'sirida quvurlarning uzayishi qurilmaning konstruksiyasiga halaqit bermaydi. Shuning uchun ularning konstruksiyasi sodda bo'lib, quvurlar to'plami bitta qo'zg'almas to'rga o'rnatiladi (3.5-rasm).



### 3.4-rasm. Takomillashtirilgan qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi:

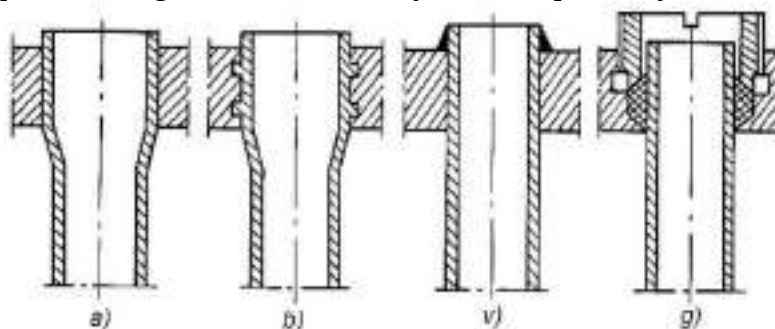
a-quvurlar panjarasi qo'zg'almas va qoplamasida harorat kompensatori bo'lgan qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi; 1-taqismlash kamerasi; 2-quvurlar doskasi; 3-kompensator; 4-quvurlar; 5-to'siq; 6, 7-issiqlik almashinuv qurilmasining montaj ustunlari; 8-qopqog'; b-suzuvchan qalpoqchali va U-simon quvurli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi; 1-taqismlash kamerasi qopqog'i; 2-taqismlash kamerasi; 3-qoplama; 4-quvur; 5-to'siq; 6-suzuvchan qalpoqcha quvurlar doskasining alohida flanetsi; 7-suzuvchan qalpoqchani quvurlar doskasi; 8-suzuvchan qalpoqcha qopqog'i; 9-qopqog'; 10, 11-qo'zg'aluvchan tayanch; 12-barqaror quvurlar doskasi.



### 3.5-rasm. U-simon quvurli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasining quvurlar to'plami.

Issiqlik almashinuv qurilmalarining germetikligini ta'minlash va issiqlik tashuvchilarni aralashib ketishini oldini olish uchun quvurlarni quvurlar panjarasiga mahkamlashning ko'p usullari ishlab chiqilgan (3.6-rasm).

Quvurlarni mahkamlashning eng ko'p tarqalgan va qulay usuli-razvalsovkadir (3.6-rasm, a, b). Quvurlar razvalsovkaga moyil bo'lmasa va issiqlik tashuvchilarning bosimi yuqori bo'lsa payvandlash usulidan foydalaniladi (3.6-rasm, v). Salnikli zichlagichlardan (3.6-rasm, g) foydalanish qimmat, qiyin va yetralicha ishonchli emas, ammo bu usulda issiqlik almashinuv qurilmalarini tozalashda qismlarga ajratish ancha osonlashadi. Bundan tashqari quvurlarni salnikli zichlagich yordamida mahkamlash issiqlik almashinuv qurilmasining harorat deformatsiyasini kompensatsiyalovchi usul hisoblanadi.



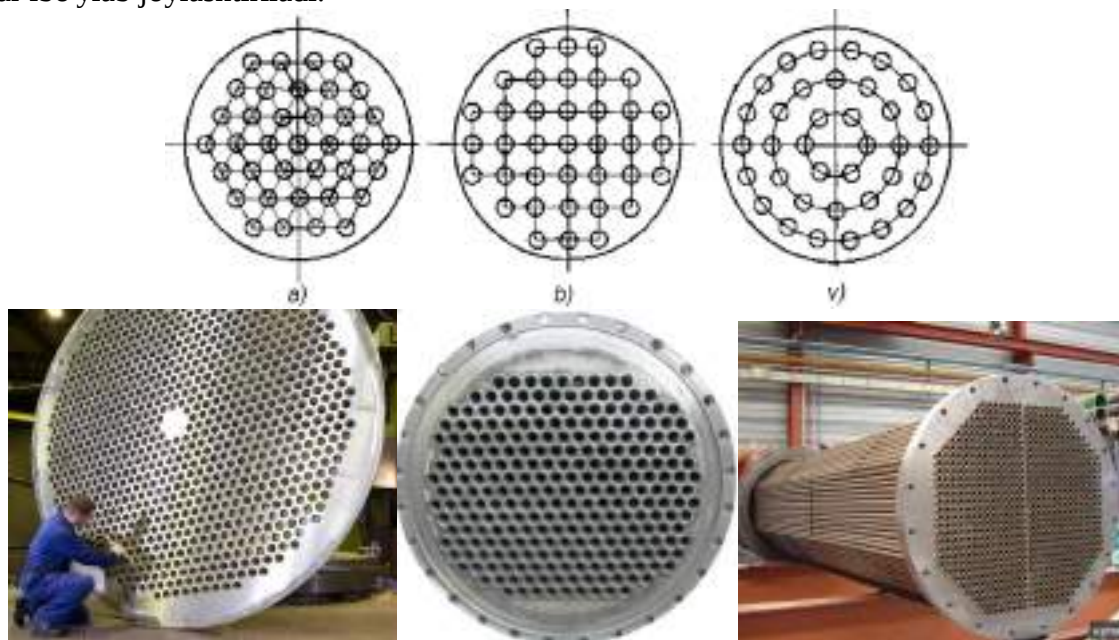
### 3.6-rasm. Quvurlarni quvurlar panjarasiga mahkamlash usullari:

a-razvalsovka; b-ariqchali razvalsovka; v-payvandlash; g-salnikli zichlagichli.

Qoplama quvurli issiqlik almashinuvi qurilmalarida quvurlar to'rga uch xil usul bilan joylashtiriladi: a) to'g'ri oltiburchakning qirralari bo'ylab; b) konsentrik aylanalar bo'yicha; v) kvadratning tomonlari bo'ylab (3.7-rasm).

Ko'pincha qoplama quvurli issiqlik almashinuvi qurilmalarida quvurlar to'g'ri oltiburchakning qirralari bo'ylab joylashtiriladi, chunki bunda quvurlar ixcham joylashib, ularning soni ko'proq bo'ladi.

Ayrim vaqtda quvurlarning yuzasini tozalash oson bo'lishini nazarda tutib quvurlar to'rga kvadrat tomonlar ibo'ylab joylashtiriladi.



**3.7-rasm. Quvurlarni quvurlar panjarasiga joylashtirish usullari:**

a-to'g'ri oltiburchakning tomonlari bo'ylab; b-kvadratning tomonlari bo'ylab;  
v-konsentrik aylanalar bo'ylab.

Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarining afzalliklari:

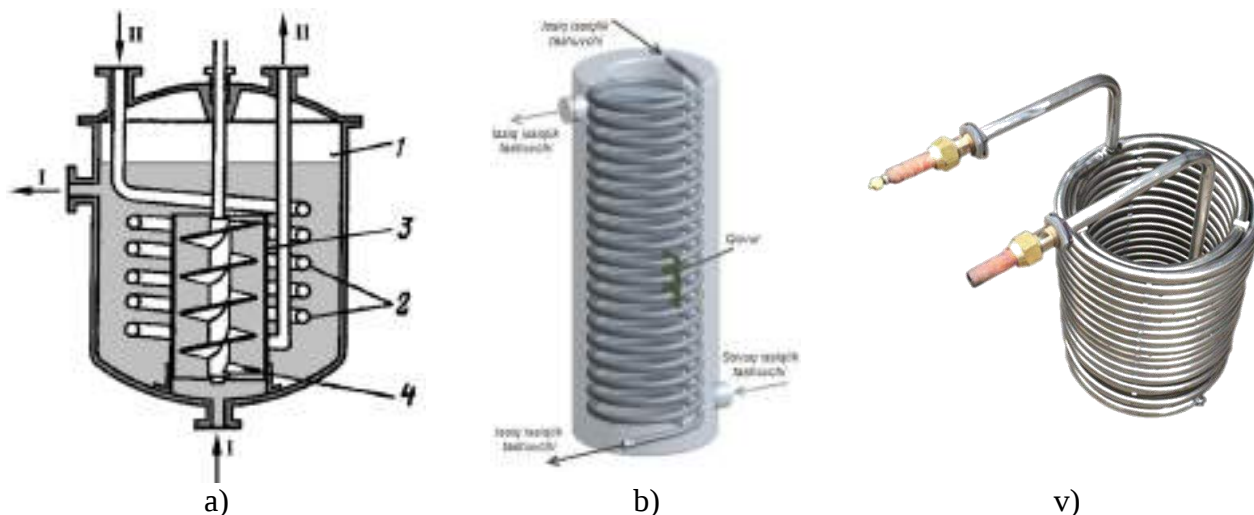
- 1) qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasining ixcham o'lchamlariga nisbatan issiqlik almashinuv yuzasi katta;
- 2) tayyorlash oson;
- 3) tayyorlashga metall sarfi nisbatan kam;
- 4) ishlashda ishonchli;
- 5) yuqori bosim ostida ham ishlaydi.

Qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarining kamchiliklari:

- 1) issiqlik tashuvchilarning kichik sarflarida ishlamaydi;
- 2) razvalsovka va payvandlashga moyil bo'lmagan metallardan tayyorlash qiyinligi;
- 3) kuzatish, tozalash va ta'mirlash qiyin.

### **3.2. Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmalari.**

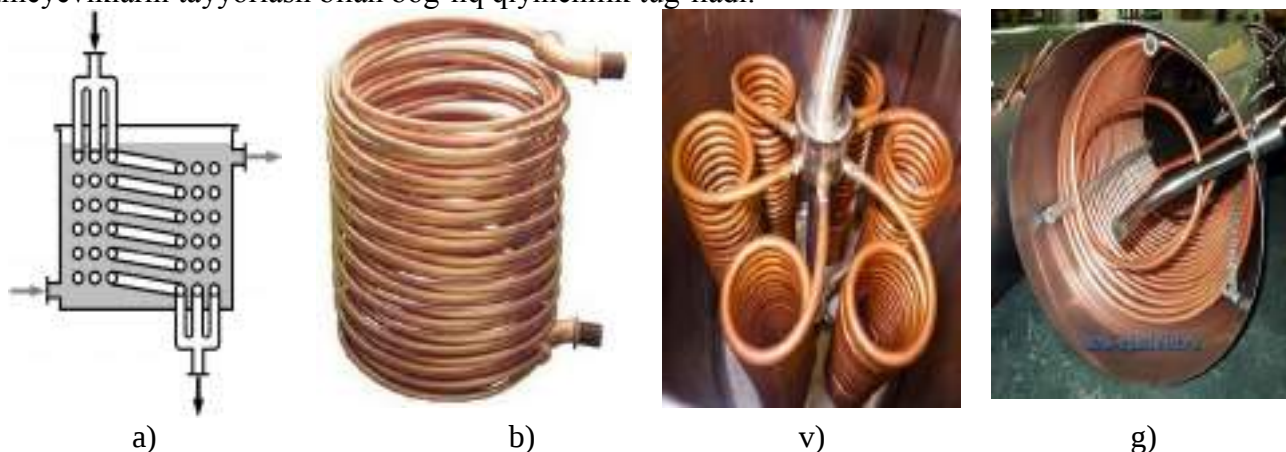
Botirilgan zmeevikli qurilmalar quvurchali issiqlik almashinuv qurilmalarining eng eskirgan usuli hisoblanadi (3.8-rasm). Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmasi diametri  $15 \div 75 \text{ mm}$  li quvurlardan tayyorlangan spiralsimon zmeeviklar suyuqlik bilan to'ldirilgan idish ichiga o'rnatiladi. Botirilgan zmeevik quvurlaridan gaz yoki bug' harakatlanadi. Silindrik idish isitilishi zarur bo'lgan suyuqlik bilan to'ldiriladi. Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmasining diametri idish o'lchamiga ko'ra  $300 \div 2000 \text{ mm}$  ga teng bo'lishi mumkin. Silindr idishning hajmi katta bo'lgani uchun, suyuqlikning tezligi kichik, ya'ni issiqlik berish koeffitsientining qiymati past bo'ladi. Issiqlik tashuvchi odatda zmeevik ichiga yuboriladi. Bu turdagi qurilmalar kam miqdordagi suyuqliklarni isitish uchun mo'ljallangan. Suyuqlik bilan to'ldirilgan idishning hajmi katta bo'lganligi va idish ichidagi suyuqlikning tezligi juda kichik bo'lganligi uchun zmeevikning tashqi devori tomonidagi bug' bilan suyuqlik orasidagi issiqlik berish koeffitsienti ham kichik qiymatga ega bo'ladi. Qurilmaning hajmini kamaytirish va suyuqlikning tezligini oshirish uchun uning ichiga stankanga o'xshash idish tushiriladi. Stakan issiqlik tashuvchilarning majburiy harakatini ta'minlaydi.



**3.8-rasm. Botirilgan zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmasi:**

a-zmeevik botirilgan va aralashtirgichi bo'lgan; 1-idish; 2-zmeevik; 3-stakan; 4-aralashtirgich; I, II-issiqlik tashuvchilar; b) qurilmaning umumiy ko'rinishi; v) zmeevik quvurning umumiy ko'rinishi.

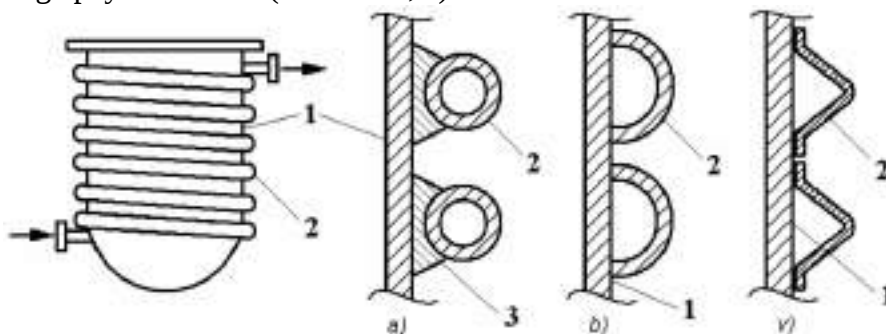
Issiqlik tashuvchilarning miqdori ko'p bo'lganda bir nechta parallel seksiyadan tayyorlangan zmeeyeviklar qo'llaniladi (3.9-rasm, a). Qurilma o'lchamlarini kattalashtirishda spiralsimon zmeeyeviklarni tayyorlash bilan bog'liq qiyinchilik tug'iladi.



**3.9-rasm. Zmeevikli qurilmalarning konstruksiyalari:**

a-uchta bir xil quvurli spiralsimon zmeevikli; b-umumiy ko'rinishi; v-bir nechta seksiyali qurilma; g-zmeevikni joylashtirilishi.

Zmeeviklari tashqarida o'rnatilgan issiqlik almashinuv qurilmalari ham energetika va kimyo sanoatida keng qo'llaniladi (3.10-rasm). Qurilma (odatda reaktor) devorining tashqarisiga yarim silindr yoki burchakli po'latdan tayyorlangan zmeeyeviklar payvandlanadi (3.10-rasm, b, v). Agar zmeeyevikda issiqlik tashuvchining yuqori bosimini ta'minlash kerak bo'lsa, u holda zmeeyevik quvurdan tayyorlanadi va qurilma korpusiga payvandlanadi (3.10-rasm, a).



**3.10-rasm. Tashqi zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmalari:**

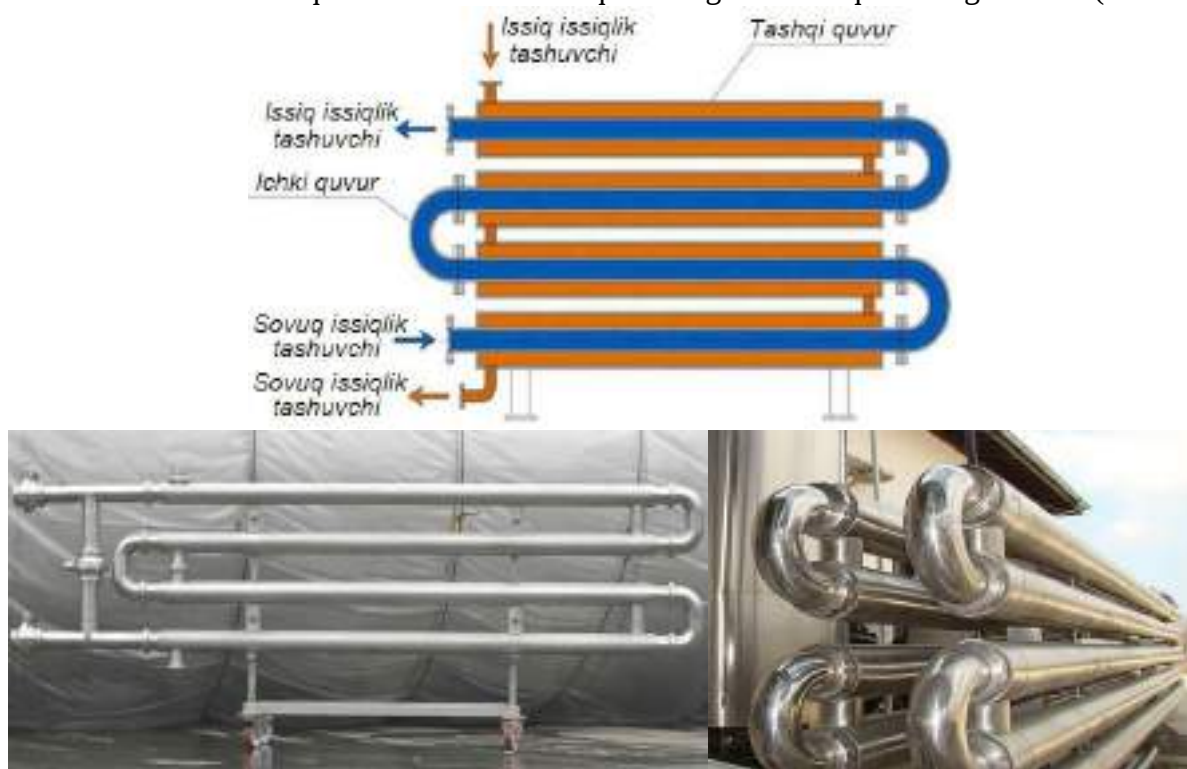
1-qurilma korpusi; 2-zmeeyevik; 3-metall qistirma.

Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmasining afzalliklari: tuzilishi sodda, tayyorlash oson, issiqlik yuzasi holatini kuzatish va tuzatish yengil, yuqori bosim qo'llash mumkin, kimyoviy faol suyuqliklarni isitish ham mumkin, suyuqlikning hajmi katta bo'lganligi sababli rejim o'zgarishlariga uncha sezgir emas.

Kamchiliklari: o'lchami katta, idishdagi suyuqlikning tezligi kichik bo'lganidan, zmeevikning tashqarisidagi issiqlik berish koeffitsienti kichik, quvurlarning ichki yuzasini tozalash qiyin, zmeevik pastida kondensat yig'iladi, issiqlik almashinuv yomonlashadi va gidravlik qarshilik ortib ketadi.

### 3.3. “Quvur ichida quvur” turidagi issiqlik almashinuv qurilmalari.

«Quvur ichida quvur» turdagi issiqlik almashinuv qurilmasi kam miqdordagi issiqlik tashuvchilar ta'sirida suyuq va gazsimon muhitni isitish va sovitish maqsadida qo'llaniladi. Bu turdagi issiqlik almashinuv qurilmasi bir nechta elementdan tashkil topgan bo'ladi. Har bir element katta diametrli quvur (odatda 57...219 mm) va konsentrik joylashtirilgan ichki quvur (odatda 25...159 mm) lardan tashkil topgan. Bunday issiqlik almashinuv qurilmalarining uzunligi odatda 3÷6 m ni tashkil etadi. Ichki quvurdan issiq issiqlik tashuvchi harakatlanadi, quvurlararo bo'shliqdan esa sovuq issiqlik tashuvchi harakatlanadi. Issiqlik almashinuv ichki quvurning devori orqali amalga oshadi (3.11-rasm).



3.11-rasm. “Quvur ichida quvur” turidagi issiqlik almashinuv qurilmasining tuzilishi va umumiy ko'rinishi.

Ichki quvurning va quvurlararo bo'shliqning ko'ndalang kesimlari kichik bo'lganligi sababli kichik sarflarda ham issiqlik tashuvchilarni katta tezliklar bilan o'tkazish mumkin. Shuning uchun bu issiqlik almashinuv qurilmasida yuqori ko'rsatkichli issiqlik uzatish koeffitsientiga erishish mumkin va qurilmaning massa birligi to'g'ri keladigan issiqlik miqdori qoplama quvurli qurilmalarnikiga nisbatan yuqori bo'ladi. Bundan tashqari, issiqlik tashuvchining tezligi katta bo'lganligi uchun quvurlarning yuzasida har xil iflosliklar hosil bo'lmaydi. Bu turdagi qurilmalar yuqori bosimda va issiqlik tashuvchilarning sarflanish miqdori kam bo'lganda ham ishlaydi. Shuningdek qurilmalarda oqimlarning harakat tezligi qoplama quvurli qurilmalarnikiga qaraganda ancha yuqori. Undan tashqari, issiqlik almashinuvchi muhitlarni qarama-qarshi yo'nalishda harakat qilishini tashkil etish oson.

Ayrim hollarda, qurilma ichki quvurlarining tashqi yuzasi qirrali qilib tayyorlanadi. Natijada, issiqlik almashinuvi yuzasi 3...5 marta ortadi. Odatda bu usuldan quvurning birorta muhiti harakatlanayotgan tomonida issiqlik berish koeffitsientini oshirish qiyin bo'lganda (gaz, qovushqoq suyuqlik harakatida yoki laminar rejimda) foydalaniladi.

Ushbu qurilmalarda ishchi muhitning harorati -40 dan +450°C gacha, bosim 2,5÷9,0 MPa gacha bo'ladi.

«Quvur ichida quvur» turi dagi issiqlik almashinuv qurilmasi quyidagi afzalliklarga ega: yuqori bosimda va issiqlik tashuvchi muhitlarning sarfi kam bo'lganda ham ishlaydi. Bundan tashqari, suyuqliklarning tezligi katta bo'lgani uchun issiqlik uzatish koeffisientining qiymati katta va bu qurilmalarini tayyorlash oson.

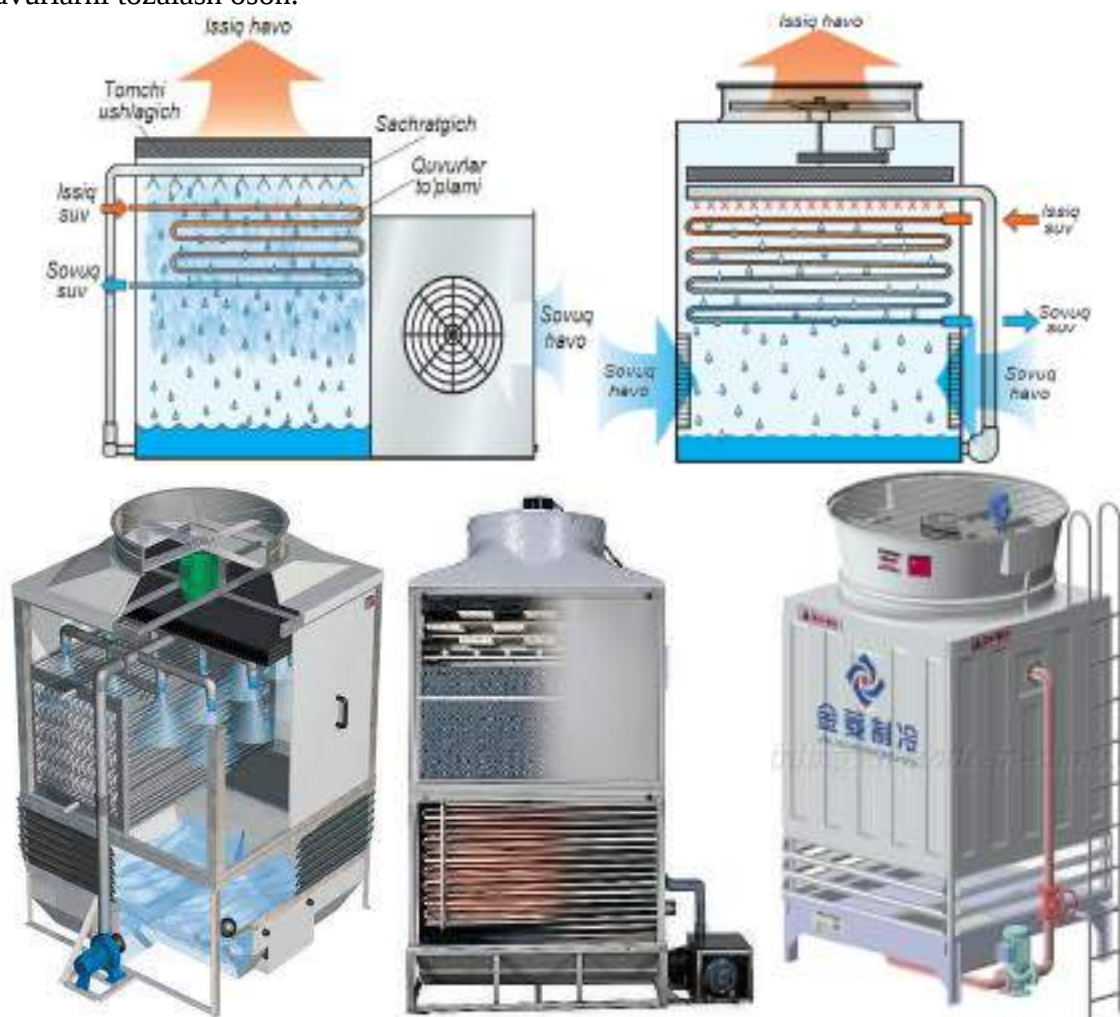
Kamchiliklari: o'lchamlari katta, quvurlar o'rtasidagi bo'shliqni tozalash qiyin va issiqlik almashinuvida qatnashmaydigan tashqi quvurlarga ko'p metall sarf bo'lgani uchun qurilma birmuncha qimmatga tushadi, shuningdek, ushbu qurilmalar bir yo'lli qurilmalar bilan solishtirilganda suyuqlik yo'li ancha uzun, bu katta gidravlik qarshilikni tashkil etadi va nasosni ishlashi uchun zarur bo'lgan elektr energiya sarfini oshiradi.

### 3.3. Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalari.

Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalari gaz, suyuqliklarni sovitish va bug'larni kondensatsiyalash uchun qo'llaniladi (3.12-rasm). Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalari gorizontall quvurlar va tekis zmeevik shaklidagi biriktiruvchi kalachdan yig'iladi. Biriktiruvchi kalach maxsus karkaslarga mahkamlanadi. Sug'oruvchi sovuq suv tarnovcha yoki teshikchali quvurdan yuqori quvurga tushiriladi, so'ngra barcha quvurlar bo'yicha taglikka (poddon) yoki vannachaga quyiladi.

Biroz bug'lanishni mavjudligi hisobiga undagi sovituvchi suv sarfi boshqa turdagi sovitgichlarnikiga qaraganda doimo kichik bo'ladi. Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalari sovituvchi suv sarfi o'zgarishiga juda sezgirdir, shuningdek, past quvurni sug'orilmasligi hisobiga suv bug'lanadi, ya'ni pastki quvur issiqlik almashinuvida deyarli ishtirok etmaydi.

Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalarining afzalliklari: qurilma sodda, arzon, suv sarfi kam, quvurlarni tozalash oson.

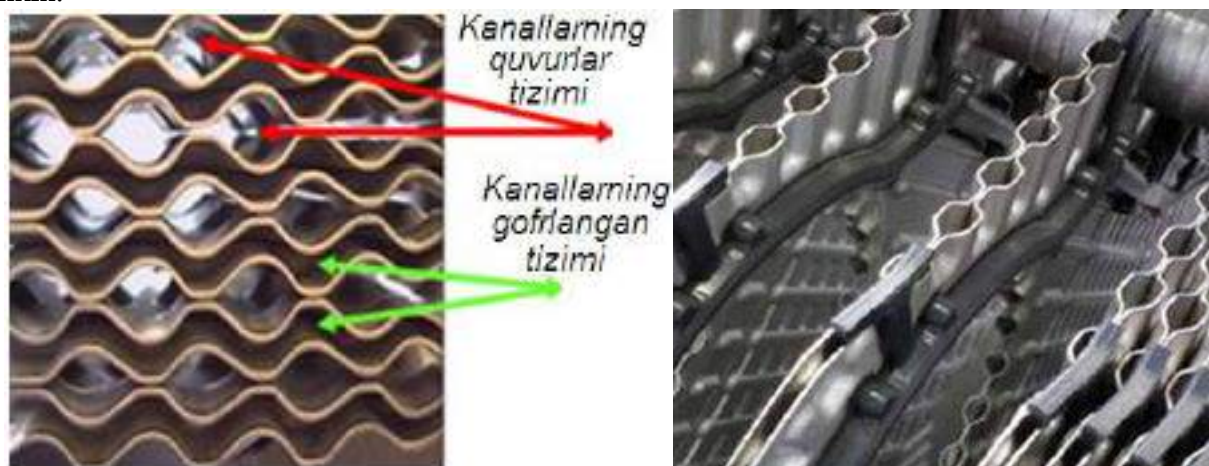


3.12-rasm. Sachratqichli issiqlik almasinuv qurilmasining tuzilishi va umumiy ko'rinishi.

Kamchiliklari: qo'pol, issiqlik uzatish koeffisiyenti kichik, metall sarfi kam, suv uzatishni tebranishiga o'ta sezgir va bug'lanish hisobiga suv yo'qoladi.

### 3.5. Lamelli issiqlik almashinuv qurilmalari.

Lamelli issiqlik almashinuv qurilmalari qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalariga o'xshash bo'lib, qoplamaga ega va unga quvurlar dastasi mahkamlangan, quvurlar dastasi qalinligi  $1,5 \div 2 \text{ mm}$  li listlarni juftlab payvandlash natijasida hosil qilingan (3.13-rasm). Bunday quvurlarning ichki gidravlik diametri 7 dan 14 mm gacha, uzunligi 2-6 m, qoplama diametri 100 dan 1000 mm gacha bo'ladi. Qurilmadagi ishchi bosim 4,5 MPa gacha yetishi mumkin. Kichik bosimlarda qoplama silindrsimon shaklda emas, balki to'g'ri burchakli shaklda bo'ladi. Lamelli issiqlik almashinuv qurilmalarini suyuqlik-suyuqlik, gaz-gaz, bug'-suyuqlik issiqlik tashuvchilar bosimining  $1 \div 4,5 \text{ MPa}$  oralig'larida qo'llash samaralidir. Lamelli issiqlik almashinuv qurilmalari blokli shaklda ham yig'ilishi mumkin.



3.13-rasm. Lamelli issiqlik almashinuv qurilmasining quvurlar tizimi.

#### Nazorat savollari.

1. Rekuperativ qurilmalarning qanday konstruksiyalarini bilasiz?
2. Rekuperativ qurilmada issiqlik almashinuvi qanday amalga oshadi?
3. Quvurchali qurilmalarning konstruksiyalariga misollar keltiring?
3. Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmalarining ishlash prinsipini tushuntiring?
5. "Quvur ichida quvur" turidagi issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Sachratqichli issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlash prinsipini tushuntiring?
7. Lamelli issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlash prinsipini tushuntiring?
8. Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmalari qayerlarda qo'llaniladi?

## 4-MA'RUZA

## REKUPERATIV IAQLARINING KONSTRUKSIYALARI.

### 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                        |                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b>                                                                 |                                                                                                          |
| 4.1. G'ilofli issiqlik almashinuv qurilmalari.                                         |                                                                                                          |
| 4.2. Blokli va shnekli issiqlik almashinuv qurilmalari.                                |                                                                                                          |
| 4.3. Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmalari.                                      |                                                                                                          |
| 4.4. Plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari.                                       |                                                                                                          |
| 4.5. Qirrali issiqlik almashinuv qurilmalari.                                          |                                                                                                          |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                         | Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                          |                                                                                                          |
| - g'ilofli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;          |                                                                                                          |
| - blokli va shnekli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi; |                                                                                                          |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- qirrali issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Tayanch iboralar:</b> g'ilof, gorelka, issiqlik tashuvchi, blok, issiqlik almashinuvi, spiral, prokat, plastina, qirra, qizdirgich, kondensator, bug'latgich, gofr, prokat.                                                                                                                                   |

#### 4.1. G'ilofli issiqlik almashinuv qurilmalari.

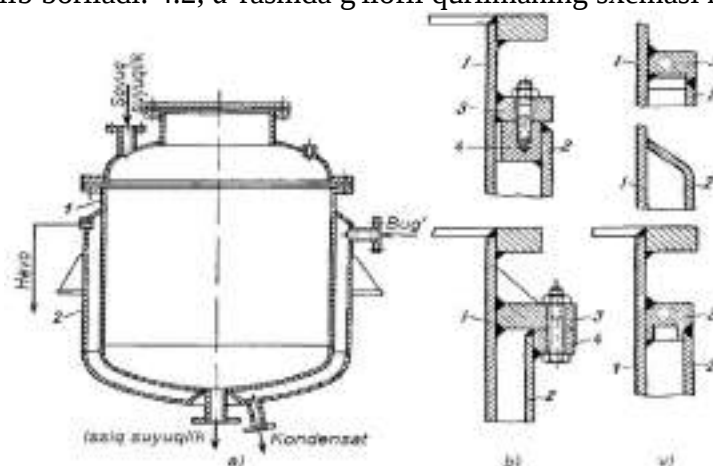
Olov yoki tutun gazi bilan qizdiriluvchi qaynovchi qozonlar birinchi texnik issiqlik almashinuv qurilmasi deb ataladi. Ushbu qurilmalar ikki qatlamli devordan iborat va ushbu devorlarning orasiga qizdiruvchi bug' yoki issiq suv solinadi. Bunday qurilmalar *g'ilofli qurilmalar* deb ataladi (4.1-rasm). Bunday qurilmalarning kamchiligi: issiqlik uzatish koeffitsiyenti kichik, qizdirishning nobarqarorligi, kichik FIK (20-40%) va jarayonni rostdash qiyinligi. Olov bilan qizdiriluvchi (mexanik aralashtirgichli qurilmalar, gazlar haroratini rostdash uchun qurilmalar) takomillashtirilgan bunday qurilmalar hozirgi vaqtda kam foydalaniladi.



4.1-rasm. G'ilofli issiqlik almashinuv qurilmalari.

Olov va gaz bilan qizdiriluvchi qurilmalar o'rnini bug' va suyuqlik bilan qizdiriluvchi qurilmalar egalladi. G'ilofli qizdirish idishning ichiga zmeevik o'rnatish qiyin bo'lgan hollarda qo'llaniladi, bunday issiqlik almashinuv qurilmalarida kuraklar yoki aralashtirgichlar mavjud bo'ladi. Tekis devorli g'ilofli qurilmalar bosimi 5 atm dan oshmaydigan bug' yoki suyuqliklarni qizdirish uchun qo'llaniladi.

G'ilofli issiqlik almashinuv qurilmalarida isitish yoki sovitish boshqa jarayonlar bilan (masalan, kimyoviy) birgalikda olib boriladi. 4.2, a-rasmda g'ilofli qurilmaning sxemasi ko'rsatilgan.



4.2-rasm. G'ilofli issiqlik almashinuv qurilmasi:

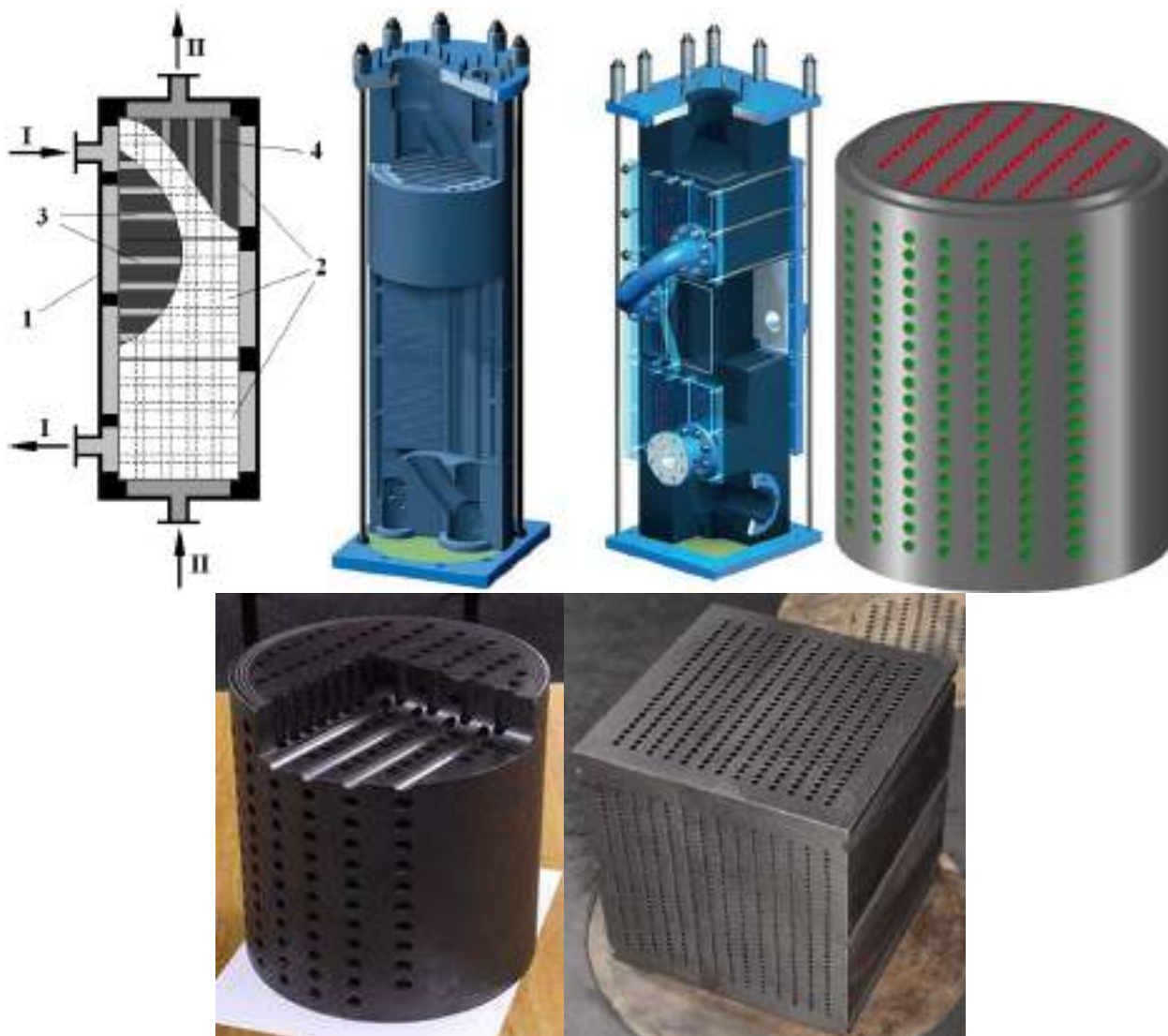
1-qurilma korpusi; 2-qizdiruvchi g'ilof; 3-halqa; 4-flanetslar.

Bunda issiqlik almashinuv yuzasi vazifasini reaktorning devori bajaradi. G'ilof 2 qoplamaga 1 flanelar 3 yordamida biriktiriladi. Qurilma devorining tashqi yuzasi va g'ilof oralig'idagi bo'shliqda I issiqlik tashuvchi sirkulyatsiyalanadi. Qurilmaning ichida esa II issiqlik tashuvchi bor. Bu turdagi qurilmalarning yuzasi chegaralangan ( $10\text{ m}^2$ ) bo'lib, g'ilofdagi ortiqcha bosim  $1\text{ MPa}$  dan oshmasligi kerak.

#### 4.2. Blokli va shnekli issiqlik almashinuv qurilmalari.

**Blokli issiqlik almashinuv qurilmalari** asosan grafit yoki grafitoplastdan tayyorlanadi. Blokli qurilmalar bir qator muhim afzalliklarga ega: 1) grafitning issiqlik o'tkazuvchanligi va korroziyaga bardoshliligi po'latga nisbatan 4 marta yuqori, shu sababdan bunday qurilmalarning samaradorligi yuqori; 2) agressiv muhitlar (kislotalar, ishqorlar, organik va noorganik erituvchilar) ga nisbatan yuqori bardoshlikka ega; 3) nisbatan arzon.

Sanoatda blokli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarining quvurlari grafitdan tayyorlanadi. Grafitning kimyoviy mustahkamligini oshirish uchun uning bo'sh g'ovaklariga fenol-formaldegid smolasi shimdiriladi. Bunday grafitdan tayyorlangan issiqlik almashinuv qurilmalari kimyoviy agressiv muhitni (suyultirilgan sulfat va fosfat kislotasi, qizdirilgan xlorid kislotasi) isitish va sovitish uchun ishlatiladi.



**4.3-rasm. Blokli issiqlik almashinuv qurilmasining tuzilishi, umumiy ko'rinishi va grafitli issiqlik almashinuv qurilmasi:**

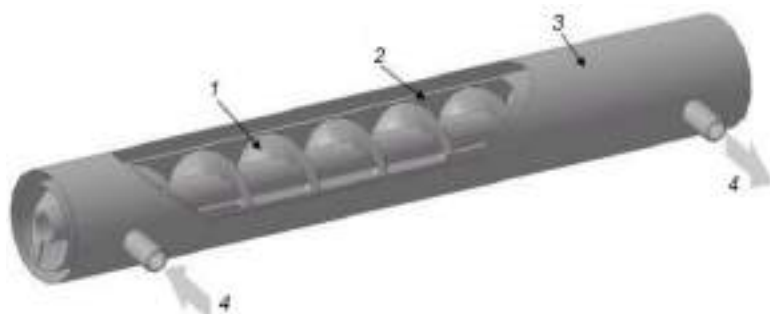
1-qurilma korpusi; 2-grafitli blorlar; 3-gorizontal kanallar; 4-vertikal kanallar;  
I, II-issiqlik tashuvchilar.

Blokli issiqlik almashinuv qurilmasining (4.3-rasm) asosiy elementi blok 2 bo'lib, parallelepiped shakliga ega, unga vertikal 4 va gorizontal 3 ikki tomoni ochiq kesishmaydigan teshiklar parralangan. Issiqlik almashinuv qurilmasi korpusida 1 joylashgan bir yoki bir nechta bloklardan tashkil topgan, ular

issiqlik tashuvchini teshiklar bo'yicha taqsimlanishini ta'minlaydi. Issiqlik tashuvchi II vertikal kanal-teshiklar bo'yicha qopqoq va taglikning konstruksiyasiga bog'liq holda bir yoki ikkita yo'lga ega bo'lishi mumkin. Gorizontall kanal-teshiklar bo'yicha harakatlanayotgan issiqlik tashuvchi I issiqlik almashinuv qurilmasidagi bloklar soniga qaraganda bitta ko'p yo'llar soniga ega.

Blokli issiqlik almashinuv qurilmalarining kamchiliklari: qurilmaning materiali (grafit) cho'zilish va egilishga kam bardoshli; grafitdan qilingan detallarni payvandlash yoki kavsharlash usullari yordamida bir-biriga biriktirish mumkin emas. Grafit asosida tayyorlangan detallarni faqat sun'iy smolalar yordamida yelimlash mumkin.

**Shnekli issiqlik almashinuv qurilmasi.** Issiqlik uzatish xususiyati kam va qovushqoqligi yuqori bo'lgan suyuqliklarni hamda sochiluvchan moddalarni isitganda, issiqlik almashinuv tezligini oshirish uchun qurilmaning devoriga tegib turgan muhitning yuza qismini doimiy ravishda yangilab turish kerak. Shu maqsadda bir vaqtning o'zida moddalarni aralashtirib, shnek yordamida uzatish lozim (4.4, 4.5-rasmlar).



**4.4-rasm. Shnekli issiqlik almashinuv qurilmasining tuzilishi:**

1-shnek; 2-quvurli qoplama; 3-korpus; 4-issiqlik tashuvchilarning harakat yo'nalishi.



**4.5-rasm. Shnekli issiqlik almashinuv qurilmasining umumiy ko'rinishi:**

1-silfon; 2-uzatish qutisi; 3-aylanuvchi kuraklar; 4-tig'li kuraklar; 5-mahsulotni tashish uchun spiral pichoq.

Qurilmaning chekka qismidan tushayotgan material bir-biriga qarab aylanma harakat qilayotgan shneklar yordamida aralashib, shneklar materialni qarama-qarshi tomonga harakatlantiradi va qurilmaning ikkinchi chekka tomonidan chiqarib yuboriladi.

Isitish jarayonini issiqlik tashuvchini yoki materialni siljitish tezligini o'zgartirish yo'li bilan boshqarish mumkin. Bunday qurilmalar nisbatan kattagina isitish yuzasiga ega. Masalan, shnek uzunligi 3 m bo'lganda uning isitish yuzasi  $2,6 \text{ m}^2$  ga teng bo'ladi. Asosiy kamchiligi nisbatan ko'p energiya talab qiladi.

#### **4.3. Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmalari.**

Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmalari (4.6-rasm) ancha katta qalinlikdagi tekis metall listlardan tayyorlanadi. Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'ri to'rtburchakli kesimga ega bo'lgan ikkita kanaldan iborat. Kanallar yupqa metall plastinalardan tuzilgan bo'lib, ular issiqlik almashinuv yuzasi vazifasini bajaradi. Spirallarning ichki tomonidagi uchlari ajratuvchi to'siq orqali biriktirilgan. Kanallar tizimi qopqoq yordamida berkitilgan.

Bu qurilmalarda issiqlik almashinuv yuzasi ikkita yupqa metall listni spiral bilan o'rash natijasida hosil bo'ladi. Spiralning ichki uchlari plastinali to'siq yordamida birlashtirilgan. Kanallarning yon tomoni qistirma va tekis qopqoq yordamida zichlab yopilgan. Natijada bir-biridan ajralib turuvchi

kanallar hosil bo'ladi va ularda qarama-qarshi yo'nalishda suyuqliklar harakatlantiriladi. Kanallarning eni metall list eni bilan belgilanadi. Balandligi esa oraliqni belgilovchi bo'lakchanning o'lchami bilan aniqlanadi. Tekis qopqoqlar flanetsga boltlar yordamida mahkamlanadi.



**4.6-rasm. Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmasining prinsipial sxemasi va umumiy ko'rinishi.**

Issiqlik tashuvchilarning kirishi va chiqishi uchun tekis qopqoqlarning markazida va spiralning tashqi uchlarida shtutserlar o'rnatiladi.

Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmasi korpusining standart elementlari 15 va 30  $m^2$  issiqlik almashinuv yuzasiga ega. Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmalari kengligi 0,2 dan 1,5  $m$  gacha va qizdirish yuzasi 3,2 dan 100  $m^2$  gacha bo'lgan o'ramli po'latlardan tayyorlanadi. Listlar orasidagi masofa 8 dan 12  $mm$  gacha, devorining qalinligi bosim 0,3  $MPa$  gacha bo'lganda 2  $mm$ , 0,6  $MPa$  gacha bo'lganda 3  $mm$  ni tashkil etadi.

Chet el firmalari o'ramli materiallardan (uglerodli va legirlangan po'latlar, nikel, titan, alyuminiy, ularning qotishmalari va hokazo) kengligi 0,1 dan 1,8  $m$  gacha, qalinligi 2 dan 8  $mm$  gacha, listlar orasidagi masofa 5 dan 22  $mm$  gacha bo'lgan maxsus issiqlik almashinuv qurilmalarini tayyorlamoqda.

Spiralsimon issiqlik almashinuvi qurilmasidan suyuqlik-suyuqlik, gaz-suyuqlik o'rtasida issiqlik almashinuvini tashkil etishda hamda bug'lar va bug'-gazli aralashmalarni kondensatsiyalash maqsadida foydalanish mumkin.

Spiralsimon issiqlik almashinuvi qurilmalarining afzalliklari: tuzilishi ixcham, ikkala issiqlik tashuvchi muhitlarni katta tezlik bilan o'tkazish mumkinligi sababli issiqlik uzatish koeffitsiyenti yuqori, spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmasi oddiy qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasiga qaraganda 2 marta ixcham va og'irligi nisbatan kichik; gidravlik qarshilik kichik bo'lganda ham yuqori issiqlik uzatish koeffitsiyentiga erishish mumkin.

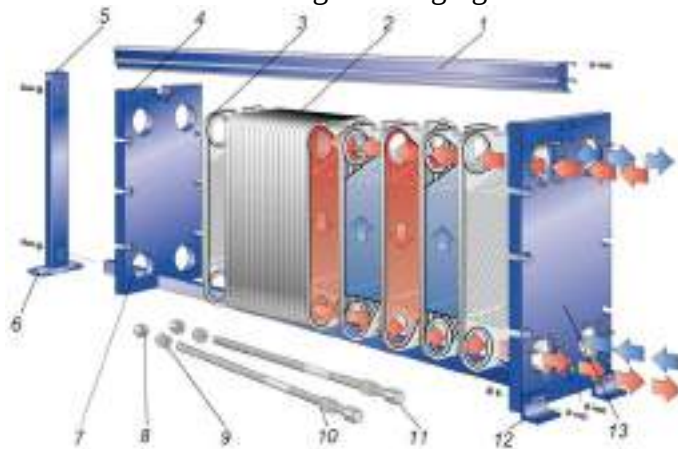
Kamchiliklari: tayyorlash va tuzatish murakkab, 0,6  $MPa$  dan ortiqcha bosimda ishlash mumkin emas.

#### **4.4. Plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari.**

Hozirda listli materiallardan tayyorlangan plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari keng qo'llanilmoqda. Plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari yupqa metall listlardan ko'p qatlamli paketlar shaklida tayyorlanadi (4.7-rasm).

Plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari yig'iluvchan (4.8-rasm, a) va yig'ilmaydigan (4.8-rasm, b) qilib tayyorlanadi. Yig'iluvchi qurilmalarda kanallarning germetikligi sintetik kauchuklardan

tayyorlangan qistirmalar yordamida ta'minlanadi. Ularni ishchi yuzalarini ikkala tomonini ham tozalash zarur bo'lgan hollarda qo'llash maqsadga muvofiqdir. Ularni ishchi harorati  $-20$  dan  $+150^{\circ}\text{C}$  gacha va bosimi  $2\div 2,5\text{ MPa}$  gacha. Yig'ilmaydigan plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari payvandlab tayyorlanadi. Ular  $400^{\circ}\text{C}$  haroratgacha va  $3\text{ MPa}$  bosimgacha ishlashi mumkin. Sanoat miqyosida ishlab chiqarilayotgan plastinali issiqlik almashinuv qurilmalarining issiqlik almashinuv yuzasi plastinalarning tipaviy o'lchamiga ko'ra  $2$  dan  $600\text{ m}^2$  gacha yetadi; bunday qurilmalar bosimning qiymati  $1,6\text{ MPa}$  gacha va ish muhitining harorati  $-30$  dan  $+180^{\circ}\text{C}$  gacha o'zgarganda ishlatiladi.



**4.7-rasm. Plastinali issiqlik almashinuv qurilmasining konstruksiyasi:**

1-qo'zg'almas qism; 2-plastina paketi; 3-zichlama; 4-qo'zg'aluvchan siquvchi plita; 5-statina; 6-statina tayanchi; 7-nazorat teshigi; 8-qisuvchi gayka; 9-stopor shayba; 10-podshipnik; 11-tortuvchi bolt; 12-rama tayanchi; 13-qo'zg'almas siquvchi plita.



a)



b)

**4.8-rasm. Yig'iluvchan (a) va yig'ilmaydigan (b) plastinali issiqlik almashinuv qurilmalari.**

Plastinalarning materiali-ruxlangan yoki yemirilishga chidamli po'lat, titan, alyuminiy, melxior va hokazo. Qurilmaning tayanchlari va siquvchi plitalari qalinligi  $8-12\text{ mm}$  li uglerodli po'latdan tayyorlanadi.

Plastinali issiqlik almashinuv qurilmalarining afzalliklari: ixcham, gidravlik qarshiliklari kichik, shuning uchun ikkala muhitning harakat tezligini oshirish mumkin, bu esa issiqlik uzatish koeffitsiyentining o'sishiga olib keladi.

Kamchiliklari: katta bosimlarga bardosh bera olmaydi, qizdirgichlar orasida qistirmalarning soni ko'p bo'lgani sababli tegishli zichlikni hosil qilish qiyin.

#### **4.4. Qirrali issiqlik almashinuv qurilmalari.**

Bu turdagi qurilmalarda issiqlik berish koeffitsiyenti past muhit tomonidagi issiqlik uzatish yuzasini ko'paytirish imkoniyati bor (4.9-rasm). Sanoatda ishlatiladigan issiqlik almashinuv jarayonlarida devorning ikki tomonidagi issiqlik berish koeffitsiyentlari bir-biridan keskin farq qiladi. Masalan, suv bug'i yordamida havo isitilganda, bug'ning devorga issiqlik berish koeffitsiyenti taxminan  $10000\div 15000\text{ Wt}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  ni tashkil etadi. Demak, ushbu holatda havo tomonidan yuza miqdorini oshirish kerak.

Quvurlar yuzasini oshirish maqsadida uning tashqi yuzasiga dumaloq yoki to'rtburchak shaklidagi metall shaybalar payvandlanadi. Quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarida ko'ndalang yoki

bo'ylama qovurg'alar o'rnatilganligi sababli qurilmaning issiqlik yuklamasi yuqori. Ma'lumki, qirrali quvurlar yasaladigan materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti yuqori bo'lishi kerak.



**4.9-rasm. Qirrali quvurlarning konstruksiyalari.**

Bunday quvurlarning gidravlik qarshiligi kichik bo'lishi uchun qirralar yuzasi issiqlik tashuvchi oqimining yo'nalishiga parallel bo'lishi zarur. Hozirgi kunda to'g'ri to'rtburchak va dumaloq shaklidagi ko'ndalang kesimli qirralar eng ko'p qo'llaniladi (4.10-rasm). Qirrali issiqlik almashinuv yuzali elementlar havo va turli gazlar isitadigan issiqlik almashinuv qurilmalarida o'rnatiladi.



**4.10-rasm. Qirrali issiqlik almashinuv qurilmasining konstruksiyalari.**

#### ***Nazorat savollari.***

1. G'iloqli qurilmalar qayerlarda qo'llaniladi?
2. G'iloqli qurilmalarning afzalligi va kamchiligi?
3. Blokli issiqlik almashinuv qurilmasini ishlash prinsipini tushuntiring?
4. Shnekli issiqlik almashinuv qurilmasini ishlash prinsipini tushuntiring?
5. Spiralsimon issiqlik almashinuv qurilmasini ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Plastinali issiqlik almashinuv qurilmasini ishlash prinsipini tushuntiring?
7. Qirrali issiqlik almashinuvi qurilmalari nima uchun qo'llaniladi?

## **5-MA'RUZA**

## **REKUPERATIV IAQLARINI HISOBLASH.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### ***Ma'ruza rejasi:***

- 5.1. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash tartibi.
- 5.2. Issiqlik konstruktiv hisobi.
- 5.3. Tekshiruv hisobi.
- 5.4. Joylashtiruv hisobi.
- 5.5. Gidravlik hisobi.

#### ***Mashg'ulotning maqsadi:***

Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash va loyihalash to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

|                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                                                            |
| - rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash tartibi to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                     |
| - issiqlik konstruktiv hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                                                         |
| - tekshiruv hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                                                                    |
| - joylashtiruv hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                                                                 |
| - gidravlik hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi                                                                                                                     |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                      |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                         |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                          |
| <b>Tayanch iboralar:</b> konstruktiv, tekshiruv, gidravlik, mexanik, sinash, qarshilik, issiqlik berish, issiqlik uzatish, haroratlar farqi, issiqlik almashinuv yuzasi. |

### 5.1. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash tartibi.

Amaliyotda issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash va loyihalash uchun issiqlik konstruktiv, issiqlik tekshiruv, joylashtiruv, gidravlik, mexanik va texnik – iqtisodiy hisoblashlar qabul qilingan.

**1. Issiqlik konstruktiv hisobi** konstruksiyasi bo'yicha yangi issiqlik almashinuv qurilmasini yaratish maqsadida bajariladi. Bunda sarflar, issiqlik tashuvchilarning boshlang'ich haroratlari va asosiy xususiyatlari, qurilmaning issiqlik quvvati ma'lum bo'ladi. Ba'zida issiqlik quvvati o'rniga issiqlik tashuvchilarning oxirgi haroratlari berilgan bo'ladi. Hisoblash asosida qurilma yuzasining maydoni va asosiy konstruktiv o'lchamlari aniqlanadi.

**2. Issiqlik tekshiruv hisobida** odatda issiqlik tashuvchilarning oxirgi haroratlari, issiqlik tashuvchilarning xususiyatlari va boshlang'ich parametrlari ma'lum bo'lganda issiqlik quvvati aniqlanadi.

**3. Joylashtiruv hisobida** issiqlik almashinuv yuzasining maydoni, issiqlik tashuvchilar uchun kanallarning o'tish kesimi, yo'llar soni, issiqlik almashinuv qurilmasining tashqi o'lchamlari orasidagi munosabatlar aniqlanadi.

**4. Gidravlik hisobida** issiqlik almashinuv qurilmasining quvurlar bo'shlig'i va quvurlararo bo'shlig'ida ishqalanish qarshiligi hamda mahalliy qarshiliklarni yengish uchun ketgan bosim va issiqlik tashuvchilarni qurilmadan o'tkazish uchun kerak bo'lgan nasos quvvati aniqlanadi.

**5. Mexanik hisobida** jarayonda ishtirok etayotgan issiqlik tashuvchilar bosimiga issiqlik almashinuv qurilmasining chidamliligi, tashqi va ichki bosim ostida qurilmani mustahkamlikka sinashdan iborat.

**5. Texnik - iqtisodiy hisobda** issiqlik almashinuv qurilmasi texnik – iqtisodiy tomondan asoslashdan iborat.

Odatda bunday hisoblashlar bir necha variantlar bo'yicha bajariladi. Tanlangan variantlarni baholash quyidagi eng maqbul belgilarning birortasi bo'yicha olib boriladi: foydali ish koeffisienti,  $1\text{ m}^2$  yuzaga sarflanadigan energiya miqdori, eng maqbullikning texnik – iqtisodiy mezon va boshqalar.

### 5.2. Issiqlik konstruktiv hisob.

Issiqlik almashinuv qurilmalarining issiqlik konstruktiv hisobini quyidagi ketma – ketlikda olib borish tavsiya etiladi.

Issiqlik almashinuv qurilmasining issiqlik konstruktiv hisobi issiqlik balansi tenglamasi bilan issiqlik uzatish tenglamasini birgalikda yechish orqali amalga oshiriladi.

Issiqlik balansi tenglamasi issiq issiqlik tashuvchi bilan sovuq issiqlik tashuvchilarning issiqlik miqdorlari tengligini aniqlaydi. Harorati yuqori bo'lgan issiqlik tashuvchidan berilayotgan issiqlik miqdori  $Q_1$  harorati past bo'lgan issiqlik tashuvchini isitish uchun  $Q_2$  va ma'lum bir qismi qurilmadan atrof – muhitga yo'qotilgan issiqlik o'rnini to'ldirish uchun  $Q_{yo'q}$  sarf bo'ladi. Odatda, issiqlik qoplamali qurilmalar uchun  $Q_{yo'q}$  miqdori foydali issiqlik miqdorining 3...5% ini tashkil etadi. Shuning uchun bu turdagi qurilmalarni hisoblashda  $Q_{yo'q}$  ni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Unda, issiqlik balansi quyidagi tenglamadan aniqlanishi mumkin:

$$Q = Q_1 \eta = Q_2 \quad (5.1)$$

bu yerda  $Q$  – qurilmaning issiqlik yuklamasi,  $\eta = 1 - Q_{yo'q}/Q_1 = Q_2/Q_1$  – foydali ish koeffitsiyenti.

Issiqlik balansi tenglamasining aniq ko'rinishi issiqlik almashinuvida ishtirok etuvchi issiqlik tashuvchilar soniga, ularning fazaviy holatiga va fazaviy o'zgarishlarning sodir bo'lishiga bog'liq.

Fazaviy holatini o'zgartirmaydigan ikkita issiqlik tashuvchi uchun issiqlik balansi tenglamasi:

$$G_1 c_1 (t'_1 - t''_1) \eta = G_2 c_2 (t''_2 - t'_2) \quad (5.2)$$

bu yerda  $G_1$  va  $G_2$  – sarflar;  $c_1$  va  $c_2$  – solishtirma issiqlik sig'implari;  $t'_1, t''_1, t'_2, t''_2$  – qizdiruvchi va qiziyotgan issiqlik tashuvchilarning qurilmaga kirish va chiqishdagi haroratlari.

Agar issiqlik tashuvchilardan biri fazaviy holatini o'zgartirsa, masalan sovuq suv bilan sovitish natijasida bug'ni kondensasiyalanishi sodir bo'lsa tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$G_1 (h'_1 - h''_1) \eta = G_2 c_2 (t''_2 - t'_2) \quad (5.3)$$

bu yerda  $h'_1, h''_1$  – issiqlik almashinuv qurilmasiga kirayotgan va undan chiqayotgan kondensatning entalpiyasi.

Agar ikkala issiqlik tashuvchining ham fazaviy holati o'zgarsa, masalan bug' hosil qilgichda qizdiruvchi bug'ning kondensasiyalanish issiqligi hisobiga suvdan ikkilamchi bug' olish amalga oshirilsa, u holda:

$$G_1 (h'_1 - h''_1) \eta = G_2 (h'_2 - h''_2) \quad (5.4)$$

bu yerda  $h'_2, h''_2$  – qiziyotgan issiqlik tashuvchilarning boshlang'ich va oxirgi entalpiyasi.

Issiqlik almashinuv qurilmasining qizdirish yuzasining maydoni issiqlik uzatish tenglamasidan aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{o'rt}} \quad (5.5)$$

bu yerda  $k$  – issiqlik uzatish koeffisienti;  $F$  – qizdirish yuzasining maydoni;  $\Delta t_{o'rt}$  – issiqlik tashuvchilar orasidagi o'rtacha haroratlar farqi.

(5) tenglamadan kelib chiqadiki, qizdirish yuzasining maydonini aniqlash uchun dastlab o'rtacha haroratlar farqini va issiqlik uzatish koeffisientini aniqlash zarur bo'ladi.

Issiqlik tashuvchilarning texnologik xususiyatiga bog'liq ravishda standart issiqlik almashinuv qurilmasi tanlanadi.

Issiqlik tashuvchilarning xususiyati va haroratlariga, issiqlik almashinuv qurilmasining konstruktiv sxemasiga bog'liq ravishda issiqlik tashuvchilarning harakat yo'nalishi tanlanadi. Issiqlik tashuvchilarning harakat yo'nalishi nafaqat qurilmaning umumiy issiqlik unumdorligiga, issiqlik tashuvchilarning haroratlarini o'zgarishiga ta'sir ko'rsatadi, haroratlar farqini ortishi esa issiqlik tashuvchilarning sarfini kamayishiga olib keladi.

**O'rtacha haroratlar farqini aniqlash.** Issiqlik tashuvchilarning o'rtacha haroratlar farqi issiqlik almashinuv jarayonini harakatga keltiruvchi kuch hisoblanadi. Ushbu farq ta'siri ostida issiqlik harorati yuqori muhitdan harorati past muhitga o'tadi.

O'zgaruvchan haroratli jarayonlarda issiqlik tashuvchilarning o'zaro harakat yo'nalishiga qarab issiqlik almashinuv jarayonining harakatga keltiruvchi kuchi o'zgaradi. Shuning uchun issiqlik uzatishning asosiy tenglamasidagi o'rtacha haroratlar farqi suyuqliklarning bir – biriga nisbatan harakat yo'nalishiga va jarayonni tashkil etilishiga bog'liq bo'ladi.

Issiqlik uzatishning asosiy tenglamalarini solishtirish natijasida issiqlik uzatish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini topish mumkin:

$$\Delta t_{o'rt} = \Delta t_{o'rt.log} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} \quad (5.6)$$

Qurilmaga kirishda va undan chiqishda issiqlik tashuvchi muhitlarning katta va kichik farqlarining nisbati  $\Delta t_{kat} / \Delta t_{kich} > 1,5$  bo'lsa, o'rtacha haroratlar farqi o'rtacha logarifmik qiymat (6) ifoda bilan aniqlanadi:

Qurilmaga kirishda va undan chiqishda issiqlik tashuvchi muhitlarning katta va kichik farqlari nisbati  $\Delta t_{kat} / \Delta t_{kich} < 1,5$  bo'lsa, o'rtacha haroratlar farqi o'rtacha arifmetik qiymat bilan aniqlanadi:

$$\Delta t_{o'rt.arif} = \frac{\Delta t_{kat} + \Delta t_{kich}}{2} \quad (5.7)$$

**Issiqlik berish koeffisientini aniqlash.** Issiqlik berish koeffisienti  $\alpha$  devorning  $1 \text{ m}^2$  yuzasidan suyuqlikka (yoki muhitdan  $1 \text{ m}^2$  yuzali devorga)  $1 \text{ s}$  vaqt davomida, devor va suyuqlik haroratlarining farqi  $1^\circ\text{C}$  bo'lganda berilgan issiqlikning miqdorini bildiradi. Bu koeffisientning miqdori qator kattaliklarga bog'liq: suyuqlikning tezligi  $w$ , zichligi  $\rho$ , qovushqoqligi  $\mu$ , muhitning issiqlik fizik xossalari (solishtirma issiqlik sig'imi  $c$ , issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti  $\lambda$ , suyuqlikning hajmiy

kengayish koeffisienti  $\beta$ ), devorning shakli, o'lchami (quvur uchun  $d$  – diametr,  $L$  - uzunlik) va uning g'adir – budirligi  $\varepsilon_0$  ga bog'liq, ya'ni:

$$\alpha = f(w, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, \varepsilon_0) \quad (5.8)$$

Issqlik almashinuv jarayoninig aniq hollari hal qilinganda tegishli mezonli tenglamalar yordamida Nusselt mezonining qiymati topiladi. So'ngra Nusselt mezonining tenglamasi orqali issqlik berish koeffisienti  $\alpha$  aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{l} \quad (5.9)$$

Issqlik berish koeffisienti issqlik oqimining har bir rejimi uchun alohida mezonli tenglamalar orqali ifodalanadi.

1. Dumaloq ko'ndalang kesimli tekis quvur yoki kanallarda issqlik tashuvchi muhitlarning agregat holati o'zgarmasdan **turbulent rejimda** ( $Re \geq 10000$ ) oqishi vaqtida ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$Nu = 0,021Re^{0,8}Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.10)$$

2. **O'tish rejimida** ( $2300 < Re < 10000$ ) issqlikning berilishi uchun aniq mezonli tenglama bo'lmaganligi sababli quyidagi taxminiy mezonli tenglamadan foydalanish mumkin:

$$K_0 = NuPr^{-0,43} \left(\frac{Pr_s}{Pr_d}\right)^{-0,25} \quad (5.11)$$

$K_0$  ning  $Re$  ga bog'liqligi 5.1-jadvalda keltirilgan.

5.1-jadval

$Re = 2 \cdot 10^3 \div 10^4$  bo'lganda  $K_0 = f(Re)$  funksiyaning qiymati

|       |      |      |      |      |      |       |
|-------|------|------|------|------|------|-------|
| $Re$  | 2200 | 2300 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000  |
| $K_0$ | 2,2  | 3,6  | 4,9  | 7,5  | 10   | 12,5  |
| $Re$  | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 10000 |
| $K_0$ | 16,5 | 20   | 24   | 27   | 30   | 33    |

$K_0$  qiymatni (11) formula bo'yicha aniqlab, quyidagi mezonni topamiz:

$$Nu = K_0Pr^{0,43} \left(\frac{Pr_s}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.12)$$

3. Tekis quvur va kanallarda **laminar rejimda** ( $Re \leq 2300$ ), erkin konveksiya ta'siri kam ( $Gr \cdot Pr < 8 \cdot 10^5$ ) bo'lganda quyidagi hisoblash tenglamadan foydalaniladi:

$$Nu = 0,17Re^{0,33}Pr^{0,43}Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.13)$$

Quvurlararo bo'shliqda muhitlarning issqlik berish koeffisienti quyidagi tenglamalar orqali aniqlanadi.

Agar  $1,6 < Re < 40$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan quvurlar uchun:

$$Nu = 1,04Re^{0,4}Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.14)$$

- yo'laksimon joylashgan quvurlar uchun:

$$Nu = 0,9Re^{0,4}Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.15)$$

Agar  $40 < Re < 10^3$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,71Re^{0,5}Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.16)$$

- yo'laksimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,52Re^{0,5}Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.17)$$

Agar  $10^3 < Re < 2 \cdot 10^5$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan to'plam uchun:

$s_1/s_2 < 2$  bo'lganda

$$Nu = 0,35Re^{0,6}Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{0,2} \quad (5.18)$$

$s_1/s_2 > 2$  bo'lganda

$$Nu = 0,4Re^{0,6}Pr^{0,36}\left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.19)$$

- yo'laksimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,27Re^{0,63}Pr^{0,36}\left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.20)$$

Agar  $Re > 2 \cdot 10^5$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,031Re^{0,8}Pr^{0,4}\left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.21)$$

- yo'laksimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,33Re^{0,8}Pr^{0,4}\left(\frac{Pr}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (5.22)$$

### 5.3. Tekshiruv hisobi.

Amaliyotda standart yoki yangi ishlab chiqilayotgan issiqlik almashinuv qurilmasi uchun  $G_1$ ,  $G_2$  sarflar, boshlang'ich haroratlar  $t'_1$ ,  $t'_2$ , moslama yuzasining maydoni  $F$  aniq bo'lganda issiqlik tashuvchilar haroratining oxirgi qiymatini  $t''_1$ ,  $t''_2$  yoki moslamaning issiqlik quvvatini aniqlash zaruriyati tug'iladi. Issiqlik va massa almashinuv kursidan ma'lumki,  $t'_1$ ,  $t'_2$  larni quyidagi formulalardan hisoblash mumkin:

$$t''_1 = t'_1 - (t'_1 - t'_2)\varepsilon \frac{(Gc)_{min}}{G_1c_1} \quad (5.23)$$

$$t''_2 = t'_2 + (t'_1 - t'_2)\varepsilon \frac{(Gc)_{min}}{G_2c_2} \quad (5.24)$$

bu yerda  $\varepsilon$ -issiqlik almashinuv qurilmasining samaradorligi, ushbu ulush maksimal mumkin bo'lgan haqiqiy issiqlik quvvatidan aniqlanadi;  $(Gc)_{min}$  -  $G_1c_1$  va  $G_2c_2$  dan kichik.

Issiqlik va massa almashinuv va issiqlik almashinuv qurilmalarining nazariyasidan ma'lumki, to'g'ri oqimli hol uchun issiqlik berish va issiqlik balansi tenglamalarini birgalikda yechib samaradorlik uchun quyidagi ifodani keltirib chiqarish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{\delta t_1 G_1 c_1}{\Delta t_{maks} C_{min}} = \frac{1 - e^{-N(1+C_{min}/C_{maks})}}{1 + \frac{C_{min}}{C_{maks}}} \quad (5.25)$$

bu yerda  $\delta t_1 = t'_1 - t''_1$ ;  $\Delta t_{maks} = t'_1 - t'_2$ ;  $N = \frac{kF}{C_{min}}$  - uzatish birligi soni;  $C_{min}$ ,  $C_{maks}$  - issiqlik tashuvchilarning eng kichik va eng katta to'liq issiqlik sig'imi, ushbu qiymatlar issiqlik tashuvchilarning sarflarini ularning solishtirma issiqlik sig'imiga ko'paytmasini eng kichik va eng katta qiymatlari.

Teskari oqimli hol uchun:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-N(1-C_{min}/C_{maks})}}{1 - \frac{C_{min}}{C_{maks}} e^{-N(1-C_{min}/C_{maks})}} \quad (5.26)$$

Agar issiqlik uzatish koeffitsiyenti oldindan ma'lum bo'lsa, u issiqlik konstruktiv hisobidan aniqlanadi.

$C_{maks} \gg C_{min}$  bo'lganda (masalan, bug'ni suv bilan sovitishda bug'ni kondensatsiyalanishi):

$$\lim \varepsilon = 1 - e^{-N} \quad (5.27)$$

Issiqlik uzatish va issiqlik balansi tenglamalaridan quyidagilar ma'lum, ya'ni  $N_1 = \frac{kF}{C_1} = \frac{\delta t_1}{\Delta t}$  va  $N_2 =$

$$\frac{kF}{C_2} = \frac{\delta t_2}{\Delta t}; \varepsilon_1 = \frac{\delta t_1}{\Delta t_{maks}} \text{ va } \varepsilon_2 = \frac{\delta t_2}{\Delta t_{maks}}; \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2 C_2}{C_1}.$$

Issiqlik tashuvchilarning har bir aniq sxemasi uchun samaradorlik formulasidan foydalanish hisoblash ishlarni qiyinlashtiradi. Ushbu qiyinchilikni bartaraf qilish uchun  $\varphi$  - oqim usulidan foydalaniladi. Ushbu usulga muvofiq samaradorlikni  $\varepsilon_2$  uzatishning son biligiga  $N_2$  va nisbiy to'la issiqlik sig'imiga  $\omega = C_2/C_1$  bog'liqligi issiqlik tashuvchilarning barcha oqim sxemalari hisobga olinmaganda yagona formula bilan yoziladi:

$$\varepsilon_1 = \frac{1 - \exp\{-N_2[1 + \omega(1 - 2f_\varphi)]\}}{1 + \omega(1 - 2f_\varphi) - \omega f_\varphi \exp\{-N_2[1 + \omega(1 - 2f_\varphi)]\}} \quad (5.28)$$

bu yerda  $f_\varphi$  - oqim sxemasining xarakteristikasi.  $f_\varphi = 0$  bo'lganda (5.28) formula to'g'ri oqim uchun (5.25) formulaga o'zgaradi,  $f_\varphi = 1$  bo'lganda teskari oqim uchun (5.26) formulaga o'zgaradi.

To'g'ri oqimli va teskari oqimlidan boshqa har qanday sxema uchun  $f_\phi$  kattalik o'zgarmas. Shuningdek hisoblashlarni ko'rsatishicha  $N_2 \leq 1,5$  va  $N_2 \leq 2f_\phi$  bo'lganda ham o'zgarmas deb qabul qilish mumkin.

#### 5.4. Joylashtiruv hisobi.

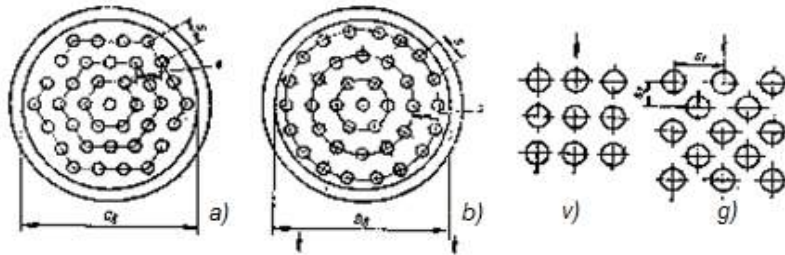
Silindrik qoplamali qoplama quvurli qurilmalarni hisoblashda dastlabki ma'lumotlarga quyidagilar kiritiladi: issiqlik almashinuv yuzasi, quvurning ichki va tashqi diametri va uzunligi ( $F$ ,  $d_i$ ,  $d_t$ ,  $L$ ), sarflar  $G_1$ ,  $G_2$  va issiqlik tashuvchilarning tezligi  $w_1$ ,  $w_2$ . No'malum kattaliklar-quvurlar soni  $n$  va ularni to'plamda joylashishi, moslama korpusining ichki diametri  $D_i$ , quvurlar to'lamidagi yo'llar soni  $z_q$  va quvurlar bo'shlig'idagi quvurlar soni  $z_{qb}$ , shtutserlarning joylashishi va o'lchamlari  $d_{sh}$ .

Quvurlar soni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$n = \frac{F}{\pi d_{o'rt} L} = \frac{4G_i z_q}{\pi d_i^2 \rho_i w_i} \quad (5.29)$$

bu yerda  $d_{o'rt}$  – quvurning o'rtacha diametri.

Quvurlar quvurlar panjarasiga olti burchakli yoki konsentrik ayanali usulda joyashtirilishi mumkin (5.1-rasm).



5.1-rasm. Quvurlarni quvurlar to'plamida joylashish sxemasi.

a-oltiburchak tomonlari bo'yicha; b-konsentrik aylana bo'yicha; v-koridorli to'plam; g-shaxmatli to'plam.

Oltiburchakli usulda joylashtirilganda quvurlar soni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$n = 3a(a + 1) + 1 \quad (5.30)$$

bu yerda  $a$ -oltiburchakning tartib nomeri, markazdan boshlab hisoblanadi, ya'ni  $a = (\sqrt{12n - 3} - 3)/6$ , oltiburchakning diagonali bo'yicha quvurlar soni  $b = 2a + 1$ .

Quvurlar o'qi orasidagi masofa quvurning tashqi diametri bo'yicha tanlanadi, ya'ni  $s = (1,2 \div 1,4)d_t$ , ammo  $s = d_i + 6 \text{ mm}$  dan kam bo'lmasligi kerak. Quvurlarning umumiy soni butun son bo'lishi kerak.

Quvurlar konsentrik aylana bo'yicha joylashtirilganda quvurlar va aylana orasidagi masofa  $s$  ga teng bo'ladi. U holda aylana radiusi quyidagiga teng bo'ladi, ya'ni  $r_1 = s$ ;  $r_2 = 2s$ ;  $r_3 = 3s$ , u holda quvurlar soni quyidagicha:

$$n = \sum_{i=1}^i n_i = 1 + \sum_{i=1}^i \frac{2\pi r_i}{s} \quad (5.31)$$

bu yerda  $i$ -aylananing tartib nomeri.

Qurilma korpusining ichki diametri:

bir yo'lli:

$$D_i = s(b - 1) + 4d_t \text{ yoki } D_i' = 1,1s\sqrt{n} \quad (5.32)$$

ko'p yo'lli:

$$D_i = 1,1s\sqrt{\frac{n}{\eta}} \quad (5.33)$$

bu yerda  $\eta$ -quvur panjarasining to'lish koeffsienti, quvurlar band qilgan maydonni qurilma kesimidagi panjaraning to'liq maydoni nisbatiga teng. Odatda  $\eta = 0,6 \div 0,8$  oralig'ida bo'ladi.

Issiqlik almashinuv qurilmasining hisoblangan  $D_i$  ning hisobiy qiymati standart yoki tanlangan issiqlik almashinuv qurilmasinikaga qadar yaqinlashtiriladi.

Quvurdan harakatlanayotgan issiqlik tashuvchining yo'llar soni:

$$z_q = \frac{\pi d_i^2 \rho_q w_q}{4G_q} \quad (5.34)$$

Quvurlararo bo'shliqdagi yo'llar soni:

$$z_{qa} = \frac{f_{qa}\rho_{qa}w_{qa}}{G_{qa}} \quad (5.35)$$

bu yerda  $f_{qa}$ -quvurlararo bo'shliqning jonli kesimi maydoni, uni aniqlash formulasi qo'llanilayotgan to'siqlar turiga bog'liq hisoblash formulasidan aniqlanadi. Ular shunday o'rnatiladiki, issiqlik tashuvchilarning harakat tezligi butun yo'l bo'yicha o'zgarmas qoladi.

Turli xil muhitlarni tutun gazlari bilan qizdirish uchun quvurlari yo'laksimon yoki shaxmatli joylashgan issiqlik almashinuv qurilmalari qo'llaniladi (5.1-rasm, v, g). Tutun gazlari to'plamni ko'ndalang yo'nalishda bir yoki bir nechta yo'nalishda yuvib o'tadi. Bunday issiqlik almashinuv qurilmalarining qoplamasi gaz oqimlari qaytib olishi uchun to'g'ri burchakli kamera shaklida tayyorlanadi.

Shaxmatli to'plamda issiqlik almashinuvi ancha jadal amalga oshadi. Aerodinamik qarshilikni kamaytirish uchun notekis ko'ndalang qadamli to'plamlardan foydalaniladi.

Zmeevikli issiqlik almashinuv qurilmasini joylashtiruv hisobini bajarishda issiqlik hisobidan yuza maydoni  $F$ , quvurning ichki, tashqi va o'rtacha diametri,  $d_i$ ,  $d_t$ ,  $d_{ort}$ , zmeevik diametri  $D_z$  va uning o'ramlarini soni aniqlanadi, zmeevik bitta o'raining uzunligi aniqlanadi:

$$l_z = \sqrt{\pi D_{zm} + h_{zm}^3} \approx \pi D_{zm} \quad (5.36)$$

Zmeevikning umumiy uzunligi:

$$l = \frac{F}{\pi d_{ort}} \quad (5.37)$$

O'ramlar soni:

$$n = \frac{l}{l_1} \quad (5.38)$$

Shtutserning shartli diametri quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$d_{sh.sh} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}} \quad (5.39)$$

Bunda shtusyerdagi issiqlik tashuvchilarning tezligi odatda yoki quvurladagi tezlik yoki quvurlararo bo'shliqdagi tezlik kabi qabul qilinadi.

### 5.5. Gidravlik hisob.

Issiqlik almashinuv qurilmasining to'liq gidravlik qarshiligi issiqlik tashuvchining quvurlar ichidagi va quvurlararo bo'shliqdagi harakati natijasida vujudga keladi.

Issiqlik almashinuv qurilmasining umumiy gidravlik qarshiligi ( $\Delta P$ ,  $Pa$ ) quvurlar bo'shlig'i va quvurlararo bo'shlig'idagi gidravlik qarshiliklarni yig'indisiga teng:

$$\Delta P = \Delta P_q + \Delta P_{q.a} \quad (5.40)$$

bu yerda  $\Delta P_q$  – quvurlar bo'shlig'idagi qarshiliklarini yengish uchun yo'qotilgan bosim,  $Pa$ ;  $\Delta P_{q.a}$  – quvurlararo bo'shliqdagi qarshiliklarni yengish uchun yo'qotilgan bosim,  $Pa$ .

**Quvurlar bo'shlig'idagi gidravlik qarshilik** quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$\Delta P_q = \Delta P_i + \Delta P_m = \left( \lambda \frac{l}{d_i} + \sum \xi \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (5.41)$$

bu yerda  $\lambda$  - ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti;  $l$  – quvurlarning bitta yo'li uzunligi,  $m$ ;  $d_i$  – quvurning ichki diametri,  $m$ ;  $\sum \xi$  – quvur yo'lidagi mahalliy qarshiliklar yig'indisi;  $\rho$  – suyuqlik yoki gazning zichligi,  $kg/m^3$ ;  $w$  – oqimning tezligi,  $m/s$ .

Ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti issiqlik tashuvchilarning harakat tartibiga va quvur ichki yuzasining nisbiy g'adir-budirlik ko'rsatkichiga bog'liq holda tegishli tenglamalar orqali topiladi:

a) laminar harakat tartibi uchun:

$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (5.42)$$

bu yerda  $A$  – quvur kesimi yuzasiga bog'liq koeffitsiyent,  $A = 64$  – silindrik kesimli quvurlar uchun;  $A = 57$  – to'rtburchak kesimli quvurlar uchun.  $Re$  – Reynolds mezon.

b) turbulent harakat tartibi uchun:

$$\lambda = 0,11 \left( \varepsilon + \frac{68}{Re} \right) \quad (5.43)$$

bu yerda  $\varepsilon$  - nisbiy g'adir-budirlik; quvur ichki yuzasining absolyut g'adir-budirlikini quvur diametriga nisbatiga teng, ya'ni

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d} \quad (5.44)$$

bu yerda  $\Delta$  – absolyut g'adir-budirlik ko'rsatkichi, quvur yuzasining holati va quvur yasalgan materialga bog'liq holda, maxsus adabiyotlarning jadvallaridan topiladi. Uning qiymati  $\Delta = 0,1 \div 0,3 \text{ mm}$  oralig'ida qabul qilinishi mumkin.

Quvurlar bo'shlig'ida harakat qilayotgan oqimga ko'rsatilayotgan mahalliy qarshilik koefitsiyentlari:  $\xi = 1,5$  – kameraga kirish va chiqish;  $\xi = 2,5$  – yo'llar orasidagi burilish;  $\xi = 1,0$  – quvurga kirish va chiqish.

**Quvurlararo bo'shlig'idagi gidravlik qarshilikni** hisoblashda ishqalanish qarshiligi mahalliy qarshilikni juda kam ulushini tashkil qilganligi sababli  $\Delta P_i$  qiymat hisobga olinmaydi. Demak, quvurlararo bo'shliqning umumiy qarshiligi faqatgina mahalliy qarshiliklardan iborat bo'ladi va quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$\Delta P_{q.a} = \sum \xi_m \frac{\rho w_2^2}{2} \quad (5.45)$$

bu yerda  $\sum \xi_m$  – quvurlararo bo'shliqdagi mahalliy qarshilik koefitsientlarining yig'indisi;  $w_2$  – muhitning quvurlararo bo'shliqdagi tezligi,  $m/s$ :

$$w_2 = \frac{G_2}{S_{e.k} \rho_2} \quad (5.46)$$

bu yerda  $S_{e.k}$  – quvurlararo bo'shliqdagi eng kichik yuza,  $m^2$ .

Quvurlararo bo'shlig'ida harakat qilayotgan oqimga ko'rsatilayotgan mahalliy qarshilik koefitsiyentlari:  $\xi = 1,5$  – suyuqlikning kirishi va chiqishi;  $\xi = 1,5$  – segment to'siq orqali burilish;  $\xi = \frac{3m}{Re^{0,8}}$  – quvurlar dastasining qarshiligi.

Issqlik tashuvchini issqlik almashinuv qurilmasining quvurlar bo'shlig'idan o'tkazish uchun zarur nasos quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_q = \frac{G_1 \Delta P_q}{\rho_1 \eta} \quad (5.47)$$

bu yerda  $G_1$  – issqlik tashuvchining massaviy sarfi,  $kg/s$ ;  $\Delta P_q$  – quvurlar bo'shlig'idagi umumiy yo'qotilgan bosim,  $Pa$ ;  $\rho$  – issqlik tashuvchining zichligi,  $kg/m^3$ ;  $\eta$  – nasosning FIK, odatda  $\eta = 0,7$ .

Issqlik tashuvchini issqlik almashinuv qurilmasining quvurlararo bo'shlig'idan o'tkazish uchun zarur nasos quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_{q.a} = \frac{G_2 \Delta P_{q.a}}{\rho_2 \eta} \quad (5.48)$$

bu yerda  $G_2$  – issqlik tashuvchining massaviy sarfi,  $kg/s$ ;  $\Delta P_{q.a}$  – quvurlar bo'shlig'idagi umumiy yo'qotilgan bosim,  $Pa$ ;  $\rho$  – issqlik tashuvchining zichligi,  $kg/m^3$ ;  $\eta$  – nasosning FIK, odatda  $\eta = 0,7$ .

#### **Nazorat savollari.**

1. Issqlik almashinuv qurilmalarini loyihalash tartibi qanday bosqichlardan iborat?
2. Issqlik konstruktiv hisobi qanday amalga oshiriladi?
3. Issqlik konstruktiv hisobidan asosiy maqsad nima?
4. Issqlik tekshiruv hisobidan asosiy maqsad nima?
5. Issqlik tekshiruv hisob qanday amalga oshiriladi?
6. Joylashtiruv hisobidan asosiy maqsad nima?
7. Joylashtiruv hisobi qanday amalga oshiriladi?
8. Gidravlik hisobidan asosiy maqsad nima?
9. Gidravlik hisob qanday amalga oshiriladi?

## **6-MA'RUZA**

### **DAVRIY HARAKATLI REKUPERATIV ISSIQLIK ALMASHINUV QURILMALARI.**

#### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

##### **Ma'ruza rejasi:**

- 6.1. Davriy harakatli issqlik almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari.
- 6.2. Suv bug'i va issiq suv bilan isitiluvchi qurilmalar.
- 6.3. Tutun gazi bilan isitiluvchi qurilmalar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6.4.</b> Yuqori haroratli moddalar bilan isitiluvchi qurilmalar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                      |
| <b>6.5.</b> Elektr toki bilan isitiluvchi qurilmalar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                      |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Davriy harakatli rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- davriy harakatli issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- suv bug'i va issiq suv bilan isitiluvchi qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- tutun gazi bilan isitiluvchi qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- yuqori haroratli moddalar bilan isitiluvchi qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- elektr toki bilan isitiluvchi qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                                                      |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                      |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                      |
| <b>Tayanch iboralar:</b> davriy, tutun gazi, elektr toki, bak-akkumulyator, g'ilof, reaksiyon qurilma, bug' sarfi, suv sarfi, mineral moy, avtoklav.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                      |

#### **6.1. Davriy harakatli issiqlik almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari.**

Davriy harakatli rekuperativ qurilmalarga birinchi navbatda suv qizdirgich-akkumulyatorlar, qaynovchi qozonlar va reaksiyon qurilmalarni kiritish mumkin (6.1-rasm).



**6.1-rasm. Davriy harakatli rekuperativ qurilmalarning turlari:**

a-suv qizdirgich-akkumulyatorlar; b-qaynovchi qozon; v-reaksiyon qurilma; g-avtoklav.

Suv qizdirgich-akkumulyatorlar (6.1-rasm, a) sig'imli idishdan iborat bo'lib, bug', suv yoki elektr energiyasi bilan qizdiriladi va suv miqdori yuqori bo'lgan davriy sarfli issiq suv ta'minoti tizimlarida qo'llaniladi. Suv qizdirgichlarda 4-5 soat davomida qizdiriladi va 20-30 daqiqa ichida sarflanadi (masalan, sexlarning yuvinish xonalarida navbat almashinishdan so'ng). Agar ushbu maqsadlar uchun uzluksiz tarzda ishlovchi qurilmalardan foydalanilsa, u holda ulardagi cho'qqili issiqlik sarfi suv

qizdirgich-akkumulyatorlardagi issiqlikning o'rtacha soatiy sarfidan 6-10 marta yuqori bo'ladi. Bunday suv ta'minoti qozonxona yoki IEMda cho'qqili yuklamani hosil qilish uchun qo'laniladi.

Qaynovchi qovonlar va reaksiya qurilmalarda qayta ishlanayotgan materiallar belgilangan haroratgacha qizdiriladi va bir qancha vaqt davomida shu haroratda ushlab turiladi. Belgilangan oraliq vaqtda materialda kerakli o'zgarishlar sodir bo'ladi (ayniqsa kimyoviy xususiyati), shundan so'ng qurilma bo'shatiladi.

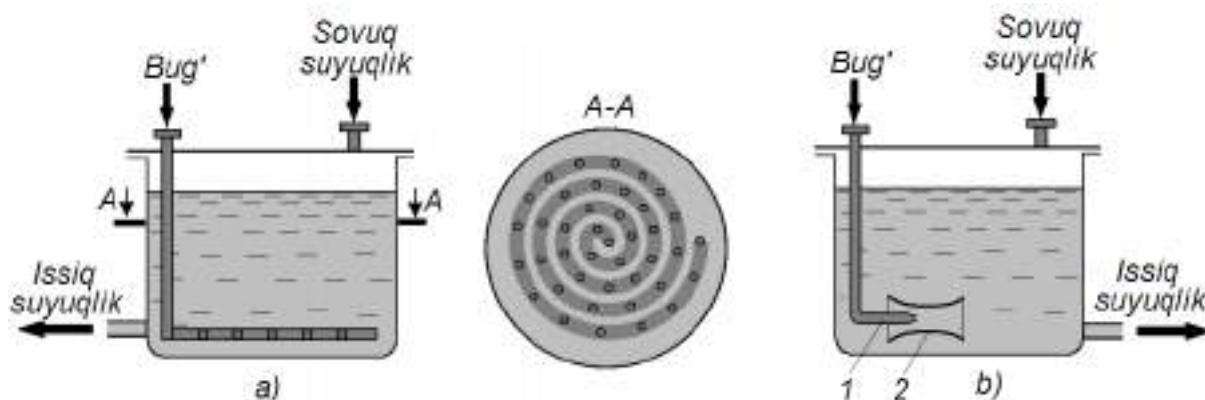
Qattiq va suyuq materiallarga yuqori bosim va haroratda ishlov berish germetiklangan qurilmalar-avtoklavlarda amalga oshiriladi (6.1-rasm, g). Ushbu qurilmalarda materialni qayta ishlash uchun qizdirish barboter quvurlar orqali "o'tkir" bug' bilan yoki quvurchali yoki bug' g'ilofli qurilmalar yordamida "o'tmas" bug' bilan amalga oshiriladi.

## 6.2. Suv bug'i va issiq suv bilan isitiluvchi qurilmalar.

Sanoatda isituvchi agent sifatida to'yingan suv bug'i keng ishlatiladi. Suv bug'i bir qator afzalliklarga ega. Bug'ning kondensatsiyalanishida katta miqdorda issiqlik ajraladi, chunki bug'ning kondensatsiyalanish issiqligi  $9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$  bosimda  $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$  ga teng. Kondensatsiyalangan bug' orqali issiqlik berish koeffitsiyenti yuqori:  $\alpha = 10^4 \div 1,2 \cdot 10^4 \text{ Wt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ . Natijada isitish uchun juda kam yuza talab qilinadi.

To'yingan suv bug'i ma'lum bir bosimda bir xil haroratda kondensatsiyalanadi, bu uning katta afzalligi hisoblanadi. Natijada tegishli isitish haroratini juda aniq ushlab turish imkoniyati paydo bo'ladi. Kerak bo'lgan sharoitda bug'ning bosimini o'zgartirish yo'li bilan isitish darajasini boshqarish mumkin. Bug' kondensatidan foydalanish natijasida ham isituvchi qurilmalarning foydali ish koeffitsiyenti ancha yuqori bo'ladi. Amalda to'yingan suv bug'i yordamida faqat  $150 \div 180^\circ\text{C}$  gacha isitish mumkin (bunda bosim  $0,5 \div 1,2 \text{ MPa}$  ga teng bo'ladi). Katta bosimli bug'ni ishlatish uchun qalin devorli va qimmatbaho qurilmalar kerak bo'ladi.

**O'tkir bug' bilan isitish.** Bunda suv bug'i to'g'ridan-to'g'ri isitilayotgan suyuqlikka kiritiladi. Bug'ning kondensatsiyalanishida ajralib chiqayotgan issiqlik suyuqlikka o'tadi, hosil bo'lgan kondensat esa suyuqlik bilan aralashadi. Suyuqlikni bir paytning o'zida isitish va aralashtirish uchun barbotyor (mayda teshiklari bo'lgan quvur) yoki soplo orqali suv bug'i yuboriladi (6.2-rasm). O'tkir bug' bilan isitish jarayonida isitilayotgan suyuqlik kondensat hisobiga ancha suyultiriladi. Shu sababli odatda o'tkir bug' suv va suvli eritmalarini isitish uchun ishlatiladi.



6.2-rasm. O'tkir bug' bilan isitish:

a-barbotyor yordamida qizdirish; b-soplo yordamida qizdirish; 1-soplo; 2-aralashtiruvchi diffuzor.

Suyuqliklarni isitish uchun kerak bo'lgan o'tkir bug'ning sarfi issiqlik balansi orqali topiladi:

$$Gct_1 + Dh_b = Gct_2 + Dc_k t_2 + Q_{yu} \quad (6.1)$$

bu yerda  $G$ -isitilayotgan suyuqlik miqdori,  $\text{kg/sek}$ ;  $D$ -bug'ning sarfi,  $\text{kg/sek}$ ;  $c$ -isitilayotgan suyuqlikning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi,  $\text{kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $t_1, t_2$ -suyuqlikning isitishdan oldingi va keyingi haroratlari,  $^\circ\text{C}$ ;  $h_b$ -isituvchi bug'ning solishtirma entalpiyasi,  $\text{kJ/kg}$ ;  $c_k$ -kondensatning solishtirma issiqlik sig'imi,  $\text{kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;  $Q_{yu}$ -qurilmaning atrof-muhitga yo'qotgan issiqligi (sarf bo'lgan issiqlikning 3-5% ini tashkil etadi).

O'tkir bug' sarfi:

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_{yu}}{h_b - c_k t_2} \quad (6.2)$$

**Kuchsiz bug' bilan isitish.** Kuchsiz bug' bilan isitishda issiqlik bug'dan suyuqlikka biror ajratuvchi devor (masalan, qoplamali va zmeevikli qurilmalarda) orqali o'tadi. Isituvchi bug' to'la kondensatsiyalanadi va u qurilmaning bo'shlig'idan kondensat sifatida chiqariladi (6.3 - rasm). Kondensat haroratini bug'ning to'yinish haroratiga teng deb olish mumkin.

Kuchsiz bug'ning sarfi issiqlik balansidan topiladi:

$$Gct_1 + Dh_b = Gct_2 + Dh_k + Q_{yu} \quad (6.3)$$

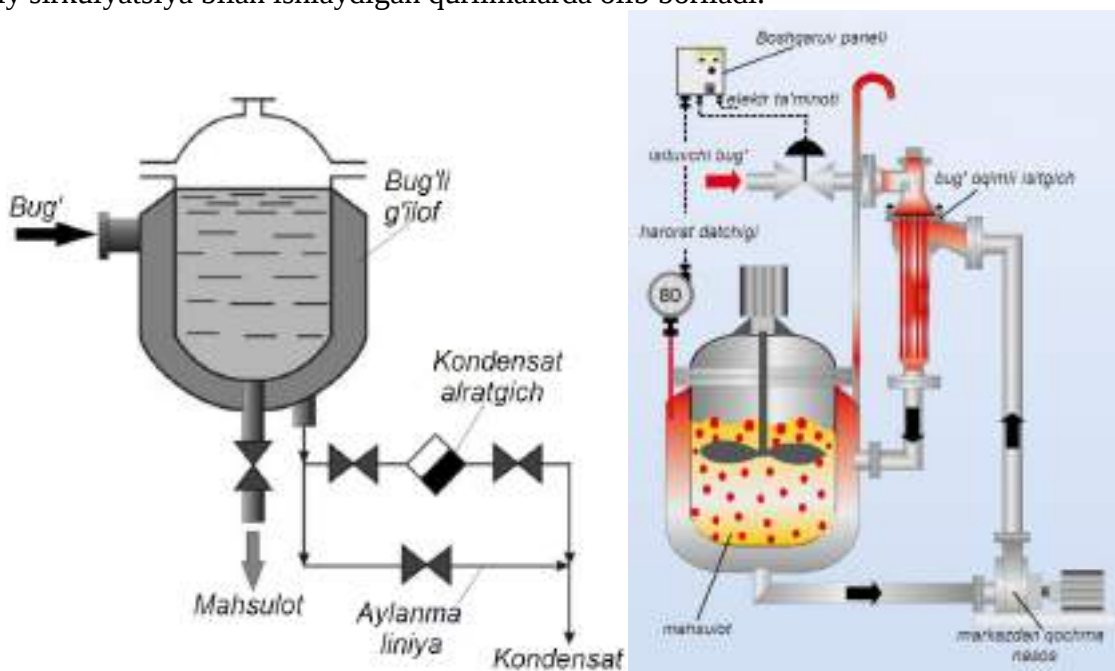
Kuchsiz bug' sarfi:

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_{yu}}{h_b - h_k} \quad (6.4)$$

bu yerda  $h_k$ -kondensat entalpiyasi.

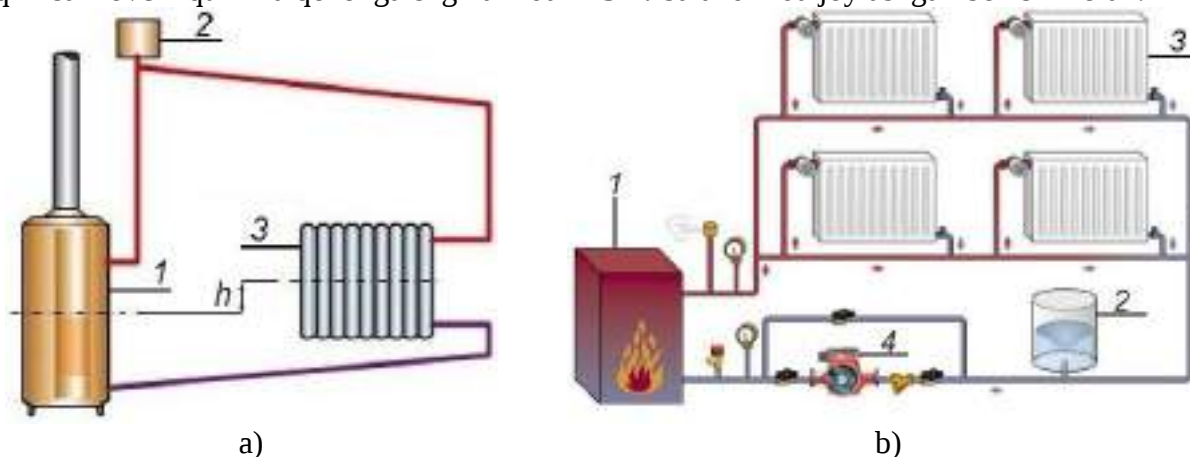
Isitish bo'shlig'ida bug' ushlanib qolgan holatda kondensatni chiqarish uchun kondensat uzatgichlar (yoki suv ajratuvchilar) ishlatiladi. Kondensat uzatgichlar yopiq va ochiq qalqovichli, bimetal tekis prujinali bo'lishi mumkin.

Issiq suv yoki boshqa suyuq holdagi issiqlik tashuvchi muhitlar yordamida isitish tabiiy yoki majburiy sirkulyatsiya bilan ishlaydigan qurilmalarda olib boriladi.



**6.3-rasm. Kuchsiz bug' bilan isitish.**

Tabiiy sirkulyatsiya bilan ishlaydigan qurilma (6.4-rasm, a) qozon, kengayish baki va issiqlik sarflaydigan qurilmadan tashkil topgan. Berk sistemada sovuq va issiq suyuqlik zichliklarining farqi ta'sirida tabiiy sirkulyatsiya yuz beradi. Tabiiy sirkulyatsiyali qurilmalarnig yaxshi ishlashi uchun issiqlik sarflovchi qurilma qozonga eng kamida 2÷3 m balandlikda joylashgan bo'lishi kerak.



**6.4-rasm. Issiq suv bilan isitish:**

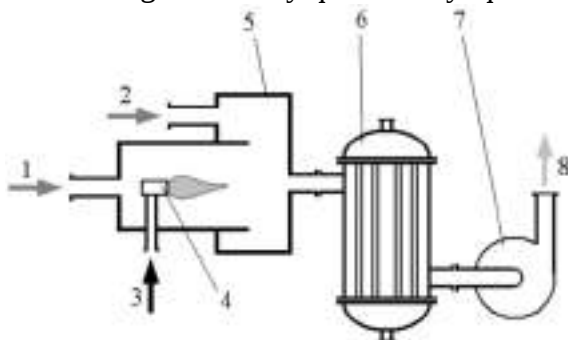
a) tabiiy sirkulyatsiya; b) majburiy sirkulyatsiya; 1-qozon; 2-kengayish baki; 3-issiqlik iste'molchisi; 4-sirkulyatsion nasos

Majburiy sirkulyatsiyali qurilmada (6.4-rasm, b) qozon va issiqlik sarflovchi qurilma o'rtasidagi suyuqlik nasos yordamida harakatga keltiriladi. Majburiy sirkulyatsiya yordamida suyuqlikning tezligi  $2 \div 2,5 \text{ m/s}$  va undan kattaroq bo'lishi mumkin, natijada issiqlik almashinuv jarayonining samaradorligi ham ko'payadi. Bunday sxemada issiqlik sarflovchi qurilmani qozondan yuqoriga ko'tarish kerak emas.

### 6.3. Tutun gazi bilan isitiluvchi qurilmalar.

Tutun gazlari bilan isitish sanoatda ishlatib kelinayotgan eng eski usullardan biri hisoblanadi. Tutun gazlari suyuq, qattiq va gazsimon yoqilg'ilarning yonishidan hosil bo'ladi. Bularning ichida tabiiy gazlar eng arzon va samarali yoqilg'idir. Ular yordamida yuqori haroratgacha ( $1000-1100^{\circ}\text{C}$ ) isitish mumkin. Ko'pincha tutun gazlaridan boshqa oraliq issiqlik tashuvchini isitish uchun foydalaniladi. Bunda tutun gazlaridagi issiqlik biror devor orqali issiqlik tashuvchiga o'tkaziladi.

Tutun gazlari bilan isitish o'txonalarda olib boriladi. 6.5-rasmda tutun gazi bilan isitiluvchi qurilmaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Bunday qurilma suyuqliklarni isitishga mo'ljallangan.



6.5-rasm. Tutun gazlari bilan isitish:

1, 2-havo; 3-yoqilg'i; 4-gorelka; 5-aralashish kamerasi; 6-issiqlik almashinuv qurilmasi; 7-tutun so'rgich; 8-tutun gazlarini chiqarib yuborish.



6.6-rasm. Tutun gazi yordamida isitish qurilmasi va uning issiqlik almashinuv elementlari.

Yoqilg'ini yoqish natijasida olingan tutun gazlari havo bilan aralashadi va  $300 \div 500^{\circ}\text{C}$  haroratgacha soviydi, so'ngra issiqlik almashinuv qurilmasiga o'tib sovuq muhitni isitadi va tutun so'rgich yordamida atmosferaga chiqarib yuboriladi.

Hozigi kunda asosan qishloq uylarida bu usuldan ko'p foydalaniladi. 6.6-rasmda eng ko'p tarqalgan tutun gazi yordamida isitish qurilmasi va uning issiqlik almashinuv elementlari ko'rsatilgan.

Tutun gazlari bilan isitishda yoqilg'ining sarfi issiqlik balansi tenglamasi orqali topiladi: agar gaz holdagi yoqilg'ining sarfini  $B$ , tutun gazlarining issiqlik almashinuv qurilmasiga kirishidagi entalpiyasi  $I_1$  va qurilmadan chiqishdagi entalpiyasini  $I_2$  deb olinsa, u holda issiqlik balansi tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$B = I_1 - I_2 = Gc(t_2 - t_1) + Q_{yu} \quad (6.5)$$

Bundan:

$$B = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_{yu}}{I_1 - I_2} \quad (6.6)$$

bu yerda  $G$ -isitilayotgan muhitning sarfi,  $kg/sec$ ;  $c$ -isitilayotgan muhitning o'rtacha solishtirma issiqlik sig'imi,  $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ ;  $t_1$  va  $t_2$ -isitilayotgan muhitning boshlang'ich va oxirgi haroratlari,  $^\circ C$ ;  $Q_{yu}$ -atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishi.  $Q_{yu}$  ning tarkibiga gazlarning kimyoviy to'la yonmasligi, ularning dissotsiyanishi hamda qattiq yoqilg'ining to'la yonmasligi sababli yo'qolgan issiqlik sarflari ham kiradi.

#### 6.4. Yuqori haroratli moddalar bilan isitiluvchi qurilmalar.

Sanoatda ko'pincha isitish jarayonlari yuqori haroratli issiqlik tashuvchi agentlar yordamida olib boriladi. Yuqori haroratli issiqlik tashuvchi moddalar (o'ta qizdirilgan suv, mineral yog'lar, yuqori haroratda qaynovchi organik suyuqliklar va ularning bug'lari, suyultirilgan tuzlar, simob va suyuq metallar) issiqlikni tutunli gazlar yoki elektr tokidan oladi va boshqa materiallarga beradi. Shu sababli bunday moddalar oraliq issiqlik tashuvchi deb ham yuritiladi.

**Mineral moylar bilan isitish.** Bu usul o'ta qizdirilgan suv bilan isitishga nisbatan oddiy va arzonidir. Bundan tashqari, tizim uchun yuqori bosim ishlatish shart emas. Mineral moylar yordamida materiallarni eng ko'pi bilan 250-300 $^\circ C$  haroratgacha isitish mumkin (6.7-rasm).



6.7-rasm. Moy bilan isituvchi ixcham qurilmalar.

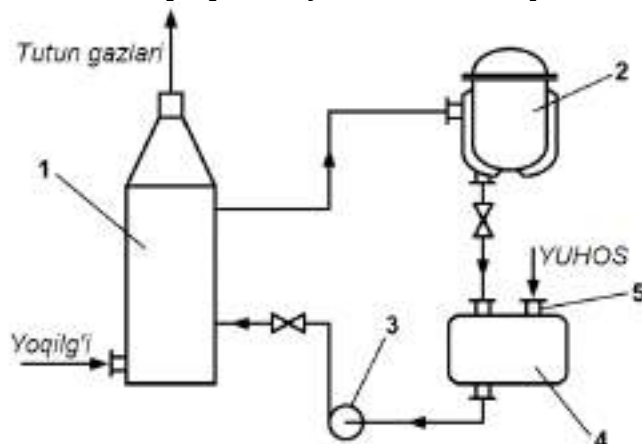
Mineral moylar eng arzon organik suyuqlikdir. Ammo ular ham qator kamchiliklarga ega: issiqlik berish koeffitsiyenti kichik, issiqlik almashinuv yuzasida ifloslanishlar paydo bo'ladi, yuqori haroratda moylar oksidlanishi mumkin. Isitish qurilmasi yetarli darajada yaxshi ishlashi uchun moy va isitilayotgan mahsulot harorati orasidagi farq kami bilan 15-20 $^\circ C$  bo'lishi shart. Shu sababli hozirgi kunda mineral moylar bilan isitish juda kam ishlatiladi.

**Yuqori haroratli organik suyuqlik bilan isitish.** Bunday issiqlik tashuvchi agentlar suyuqlik holatida ham, bug' holatida ham ishlatishi mumkin va taxminan 400 $^\circ C$  gacha isitish uchun ishlatiladi. Bular qatoriga glitserin, naftalin, etilenglikol, difenil, difenil efir, ditolilmetan, mineral yog'lar, kremniyorganik suyuqliklar va boshqalar kiradi. 6.8-rasmda yuqori haroratli organik suyuqlik bilan isitish sxemasi keltirilgan.

Bug'latgich 1 o'txonali pechdan iborat bo'lib, yoqilg'i yonganda hosil bo'ladigan tutun gazlari bilan qizdiriladi. Bunda yuqori haroratli organik suyuqlik oraliq issiqlik tashuvchi vazifasini bajaradi.

**Suyultirilgan tuzlar bilan isitish.** Sanoatda o'ta yuqori haroratlarga isitish uchun anorganik suyuq holdagi issiqlik tashuvchi (suyultirilgan tuzlar va suyuq metallar) ishlatiladi. Amalda nitrit-nitrat aralashmasidan keng foydalaniladi. Bu aralashma 40% (massa bo'yicha) natriy nitrit, 7% natriy nitrat va

53% kaliy nitratdan iborat bo'lib, atmosfera bosimida 500-540°C haroratgacha qizdirish uchun ishlatiladi. Sirkulyatsiya uchun maxsus propellerli yoki markazdan qochma nasoslardan foydalaniladi.



**6.8-rasm. Yuqori haroratli organik suyuqliklar bilan isitish sxemasi:**  
1-bug'latgich; 2-bug' g'iloqli moslama; 3-nasos; 4-idish; 5-shtutser.

**Suyuq metallar bilan isitish.** 300-380°C haroratgacha isitish uchun simob hamda litiy, natriy, kaliy, qo'rg'oshin kabi oson suyuqlanadigan metallar va ularning qotishmalari ishlatiladi. Oson suyuqlanadigan metallar (simob, natriy, kaliy va uning qotishmalaridan tashqari) asosan isituvchi qurilmalarda oraliq issiqlik tashuvchi sifatida ishlatiladi. Ba'zan ulardan tabiiy va majburiy sirkulyatsiyali isitish qurilmalarida ham foydalaniladi. Qo'rg'oshin va vismutdan iborat qotishma yuqori issiqlik berish koeffitsiyentiga ega bo'lganligi sababli samarali issiqlik tashuvchi bo'lib, ishlatish ancha xavfsiz hisoblanadi. Simob, qo'rg'oshin va uning qotishmasi kimyoviy reaktorlarda reaksiya issiqligini ajratib chiqarish uchun ishlatilmoqda. Hozirgi kunda suyuq metallardan atom elektr stansiyalarida foydalanish alohida ahamiyat kasb etmoqda.

#### **6.5. Elektr toki bilan isitiluvchi qurilmalar.**

Elektr toki yordamida materiallarni juda keng harorat intervali bo'yicha isitish mumkin. Elektr tokini issiqlik energiyasiga aylantirish usuliga ko'ra elektr toki bilan isitish bir necha turga bo'linadi: elektr qarshiligi yordamida isitish, induksion isitish, yuqori chastotali isitish, elektr yoyi bilan isitish.

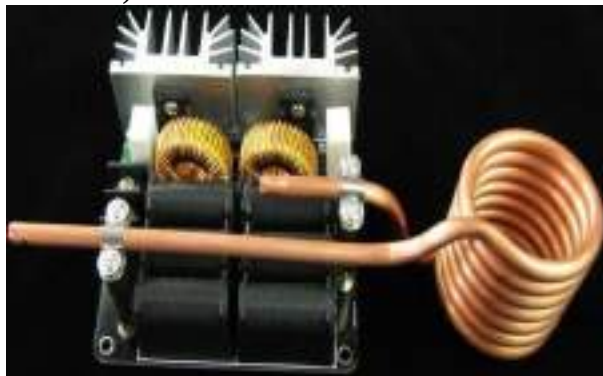
**Elektr qarshiligi bilan isitish.** Bu eng ko'p tarqalgan elektr toki bilan isitish usulidir. Bu usul yordamida 1000-1100°C gacha isitish mumkin. Isitish jarayoni elektr pechlarida olib boriladi. 6.9-rasmda elektr qarshiligi yordamida ishlaydigan isitish qurilmasining sxemasi va umumiy ko'rinishi ko'rsatilgan. Bu yerda maxsus isitish elementlari orqali elektr toki o'tganda issiqlik ajralib chiqadi, ajralib chiqqan issiqlik materialga nurlanish, issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya usullarida beriladi. Isitish elementlaridan ajralib chiqqan issiqlik isitilishi lozim bo'lgan qurilmaga beriladi. Atrof-muhitga issiqlikning yo'qotilishini kamaytirish uchun qurilma issiqlik izolyatsiya qatlami bilan qoplangan.

Isitish elementlari nixrom qotishmasidan tayyorlangan sim yoki lentadan iborat. Nixrom qotishmasining tarkibida 20% xrom, 30-80% nikel va 0,5-50% temir bo'lishi mumkin.



**6.9-rasm. Elektr qarshiligi bilan isitish qurilmasi.**

**Induksion isitish.** Bu usul o'zgaruvchan elektr maydoni ta'sirida po'latdan tayyorlangan qurilma devori qalinligida hosil bo'ladigan uyurmaviy tok yordamida ajralib chiqadigan issiqlikdan foydalanishga asoslangan (6.10-rasm).



**6.10-rasm. Induksion isitish usullari.**

**Yuqori chastotali isitish.** Bu usul elektr tokini o'tkazmaydigan materiallarni (dielektriklar) isitish uchun ishlatiladi, shu sababli bu usul dielektrik isitish deb ham yuritiladi. Yuqori chastotali isitishning prinsipi quyidagidan iborat. Material o'zgaruvchan elektr maydoniga joylashtiriladi. Bunda material molekulalari maydon chastotasi bilan tebranma harakatga kela boshlaydi va qutblanish jarayoni yuz beradi. Zarrachalarning tebranma harakat energiyasi dielektrik molekulalari orasidagi ishqalanishni yengish uchun sarflanadi va u isitilayotgan material massasida issiqlikka aylanadi.

Isitish uchun 10 dan 100 *MGts* gacha yuqori chastotali elektr toki ishlatiladi. Yuqori chastotali tok lampali generatorda hosil qilinadi. Bunday generatorda 50 *Gts* chastotali oddiy o'zgaruvchan tok yuqori chastotali tokka aylantiriladi. Yuqori chastotali tok bilan kondensatorning plastinkalari ta'minlanadi. Plastinkalar o'rtasiga isitilishi lozim bo'lgan material joylashtiriladi.

**Elektr yoyi bilan isitish.** Bu jarayon elektr yoyi yordamida ishlaydigan pechlarda olib boriladi. Pechlardagi elektrodlar orasida elektr yoyi alangasi ta'sirida elektr energiyasi issiqlik energiyasiga aylantiriladi.

#### ***Nazorat savollari.***

1. Davriy harakatli rekuperativ qurilmalar qayerlarda qo'llaniladi?
2. Davriy harakatli rekuperativ qurilmalarga qanday qurilmalarni kiritish mumkin?
3. Suv bug'i bilan isitiluvchi qurilmalarni ishlash prinsipini tushuntiring?
4. Issiq suv bilan isitiluvchi qurilmalarni ishlash prinsipini tushuntiring?
5. Tabiiy va majburiy sirkulyatsiyali qurilmalarni ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Tutun gazlari bilan isitiladigan qurilmalar qayerlarda qo'llaniladi?
6. Mineral moylar bilan isitiluvchi qurilmalarga misollar keltiring?
8. Yuqori haroratli organik suyuqlik bilan isitiluvchi qurilmalarni ishlash prinsipini tushuntiring?
9. Elektr toki bilan isitiluvchi qurilmalar qayerlarda qo'llaniladi?
10. Davriy harakatli qurilmalarning afzalliklari va kamchiliklarini ayting?

## **7-MA'RUZA**

### **DAVRIY HARAKATLI REKUPERATIV ISSIQLIK ALMASHINUV QURILMALARINI HISOBLASH.**

#### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

##### ***Ma'ruza rejas:***

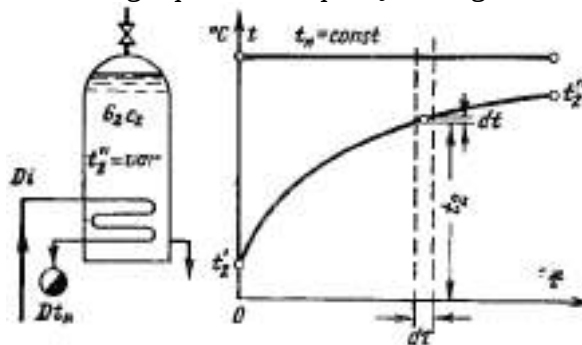
- 7.1. Bug' bilan isitiluvchi suv-qizdirgich akkumulyatorlarning hisobi.
- 7.2. Suv bilan isitiluvchi suv-qizdirgich akkumulyatorlarning hisobi.
- 7.3. Suv-qizdirgich akkumulyator uchun issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlash.
- 7.4. Reaksiya qurilmaning qizdirish yuzasini aniqlash.
- 7.5. Reaksiya qurilmalarda issiqlik va bug' sarfi grafiklari.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Davriy harakatli rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b><br>- bug' bilan isitiluvchi suv-qizdirgich akkumulyatorlarning hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- suv bilan isitiluvchi suv-qizdirgich akkumulyatorlarning hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- suv-qizdirgich akkumulyator uchun issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlash to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- reaksiyon qurilmaning qizdirish yuzasini aniqlash to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- reaksiyon qurilmalarda issiqlik va bug' sarfi grafiklari to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                                                                                  |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                  |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                  |
| <b>Tayanch iboralar:</b> balans, issiqlik hisobi, bug' sarfi, suv sarfi, suv-qizdirgich, bak-akkumulyator, reaksiyon qurilma, mineral moy sarfi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                  |

### 7.1. Bug' bilan isitiluvchi suv-qizdirgich akkumulyatorlarning hisobi.

Davriy harakatli qurilmalarda qizdirish o'zgaruvchan issiqlik rejimida amalga oshiriladi, shuning uchun ularni hisoblashda uzluksiz harakatli qurilmalar uchun ma'lum formulalarni qo'llab bo'lmaydi.

Qurilmada suv qiziydi va bug' o'zining bosimiga mos keladigan haroratgacha soviydi. Qiziyotgan suv miqdori  $G_2$  qurilmada o'zgarmas holda qoladi. Shuningdek, bug'ning kondensatsiyalanish harorati  $t_t$  vaqt bo'yicha o'zgarmas, suvning harorati  $t_2$  esa ortib boradi (7.1-rasm), haroratlar farqi  $\Delta t = t_t - t_2$  vaqt bo'yicha pasayadi. Bular bilan bog'liq holda issiqlik  $Q$  va bug'  $D$  sarfi kamayadi.



7.1 – rasm. Bug' bilan isitiluvchi suv qizdirgich-akkumulyatorlarda haroratni o'zgarish grafigi.

Suvning harorati  $dt$  ga oshganda  $d\tau$  vaqt elementi uchun issiqlik balansi va issiqlik uzatishning differensial tenglamasi quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$$dQ = D(i - i_t)d\tau = kF\Delta t d\tau = G_2 c_2 dt \quad (7.1)$$

Agar qiziyotgan suvning harorati  $t_2'$  bo'lsa,  $\tau$  vaqtdan keyin  $t_2''$  ga teng bo'ladi, u holda (7.1) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\int_0^\tau \frac{kF}{G_2 c_2} dt = \int_{t_2'}^{t_2''} \frac{dt}{t_t - t_2}$$

yoki integrallashdan so'ng

$$\frac{kF}{G_2 c_2} \tau = \ln \frac{t_t - t_2'}{t_t - t_2''}$$

bu yerda

$$kF = \frac{G_2 c_2}{\tau} \ln \frac{t_t - t_2'}{t_t - t_2''} \quad (7.2)$$

$kF$  ko'paytma suv qizdirgich-akkumulyatorlarning solishtirma issiqlik unumdorligi deb ataladi.

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $k$  uzluksiz harakatli qurilmalarniki kabi hisoblanadi, ammo ushbu hol uchun  $\alpha_1$ -kondensatsiyalanayotgan bug'dan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti va  $\alpha_2$ -qurilmada suvning tabiiy konveksiyasi vaqtida devordan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti.

Devordan qiziyotgan suyuqlikka issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblash uchun  $\tau$  vaqtda oxirgi haroratlar farqini bilish zarur. Uni quyidagi tenglikdan aniqlash mumkin:

$$t_{ort2} = t_t - \Delta t = t_t - \frac{t_2'' - t_2'}{\ln \frac{t_t - t_2'}{t_t - t_2''}} \quad (7.3)$$

Qurilmani loyihalashda ba'zan qurilmaning qizdirish yuzasi ma'lum bo'ladi va suvning oxirgi haroratini aniqlash talab etiladi. Uni topish uchun (7.2) tenglamadan  $t_2''$  ni  $\tau$  ga bog'liqligidan quyidagini hosil qilish mumkin:

$$t_2'' = t_t - (t_t - t_2') e^{-\frac{kF\tau}{G_2 c_2}} \quad (7.4)$$

Bug' sarfini vaqtga bog'liqligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$D = kF \frac{t_t - t_2'}{i - i_t} e^{-\frac{kF\tau}{G_2 c_2}} \quad (7.5)$$

## 7.2. Suv bilan isitiluvchi suv-qizdirgich akkumulyatorlarning hisobi.

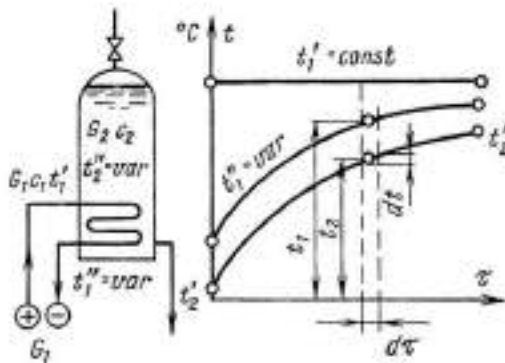
Issiq suv bilan qizdiriluvchi qurilmadan birining sxemasi va harorat grafigi 7.2-rasmida keltirilgan. Bunday qurilmalarning ishlashi, odatda issiq suv harorat tashuvchining sarfi va uning qurilmaga kirishdagi harorati o'zgarmas bo'lganda ( $G_1 = \text{const}$ ,  $t_1' = \text{const}$ ) amalga oshiriladi. Issiqlik balansi va issiqlik uzatishning differensial tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$dQ = kF \Delta t d\tau = G_1 c_1 (t_1' - t_1) d\tau = G_2 c_2 dt \quad (7.6)$$

bu yerda  $G_1 c_1$  va  $G_2 c_2$  – issiqlik tashuvchilarning umumiy issiqlik sig'imi;  $\Delta t$  – haroratlarning o'rtacha logarifmik farqi:

$$\Delta t = \frac{t_1' - t_1}{\ln \frac{t_1' - t_2}{t_1' - t_2'}}$$

bu yerda  $t_1'$ ,  $t_1$  va  $t_2$  – ko'rilayotgan  $d\tau$  vaqt oralig'ida issiq va sovuq suvning haroratlari.



7.2-rasm. Suv bilan isitiluvchi suv qizdirgich-akkumulyatorlarda haroratni o'zgarish grafigi.

$\Delta t$  qiymatni (7.5) ifodaga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$kF \frac{t_1' - t_1}{\ln \frac{t_1' - t_2}{t_1' - t_2'}} = G_1 c_1 (t_1' - t_1)$$

va

$$\frac{kF}{G_1 c_1} = \ln \frac{t_1' - t_2}{t_1' - t_2'}$$

bundan

$$\frac{t_1' - t_2}{t_1' - t_2'} = e^{-\frac{kF}{G_1 c_1}}$$

$A = \frac{kF}{G_1 c_1}$  belgilashni kiritamiz, u holda issiq suvning qurilmadan chiqishdagi harorati:

$$t_1 = t_2 + (t_1' - t_2) e^{-A}$$

$t_1'$  va  $t_2$  orqali ifodalangan (7.6) ifodaga  $t_1$  o'zgaruvchi qiymatini qo'yamiz va o'zgartirishlarni amalga oshirib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} (1 - e^{-A}) d\tau = \frac{dt_2}{t_1' + t_2}$$

Tenglamaning chap tomonini 0 dan  $\tau$  gacha oraliqda, o'ng tomonini esa boshlang'ich  $t_2'$  haroratdan oxirgi  $t_2''$  haroratgacha integrallaymiz:

$$\frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} (1 - e^{-A}) \tau = \ln \frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2} \quad (7.7)$$

(7.7) tenglama bo'yicha qurilmaning solishtirma issiqlik unumdorligini aniqlash mumkin:

$$kF = G_1 c_1 \ln \frac{1}{1 - \frac{G_2 c_2}{G_1 c_1 \tau} \ln \frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2}} \quad (7.8)$$

$kF$  qiymatni va mos formulalar bo'yicha aniqlangan issiqlik uzatish koefitsiyenti kattaligini aniqlagandan keyin qurilmaning qizdirish yuzasini  $F$  aniqlash oson.

Devordan isitilayotgan suvga issiqlik berish koefitsiyentini aniqlash uchun isitilayotgan suvning o'rtacha haroratini bilish zarur. U quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$t_{2ort} = t'_1 - \frac{t'_2 - t''_2}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2}} \quad (7.9)$$

Issiq suv uchun haroratning o'rtacha qiymatini quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$t_{1ort} = t'_1 - \frac{t'_{1ox} - t'_{1b}}{\ln \frac{t'_1 - t'_{1b}}{t'_1 - t'_{1ox}}}$$

bu yerda  $t'_{1b}$  va  $t'_{1ox}$  - jarayonning boshlang'ich va oxirgi momentida qurilmadan chiqayotgan issiq suvning harorati.

Agar qurilmaning qizdirish yuzasi ma'lum bo'lsa, u holda sovuq suvning oxirgi haroratini  $t''_2$  qizdirish vaqtiga  $\tau$  bog'liq holda (7.7) tenglamadan aniqlash mumkin:

$$t''_2 = t'_1 - (t'_1 - t'_2) e^{-B}$$

bu yerda

$$B = \frac{G_1 c_1 \tau}{G_2 c_2} \left(1 - \frac{1}{e^A}\right)$$

### 7.3. Suv-qizdirgich akkumulyator uchun issiqlik uzatish koefitsiyentini aniqlash.

Issiqlik uzatish koefitsiyenti tekis devor uchun formulalar bo'yicha aniqlanadi. Tabiiy konveksiyada vertikal va gorizontal quvurlardan katta hajmdagi suyuqlik va gazga issiqlik berish koefitsiyenti M.A. Mixeyev formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} = C(GrPr)^n = C \left( \frac{\beta g l^3 \Delta t \nu}{v^2 a} \right)^n \quad (7.10)$$

Formula suyuqlik va gazlar uchun  $Pr \geq 0,7$  bo'lganda qo'llaniladi. Ularda quyidagilar aniqlovchi parametr:

$$\Delta t = t_d - t_{ch}; \quad t_{ch} = 0,5(t_d + t_s)$$

bu yerda  $t_d$  - devorning issiqlik berish yuzasi harorati;  $t_s$  - suyuqlikning o'rtacha harorati;  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $a$ ,  $\beta$  - chegaraviy qatlam haroratida  $t_{ch}$  suyuqlikning fizik o'zgarmlari;  $l$  - xarakterli o'lcham: gorizontal joylashgan quvurlar uchun  $l = d$  ( $d$  - quvur diametri), vertikal quvurlar uchun  $l = h$  ( $h$  - quvur diametri).

$C$  va  $n$  kattaliklar  $GrPr$  ko'paytmaga bog'liq. Amaliy hisoblashlarda quyidagi munosabatlar qabul qilingan:

$GrPr < 10^{-3}$  bo'lganda (plyonkali rejim):

$$Nu = const = 0,5 \quad (7.10 a)$$

$GrPr = 10^{-3} - 500$  bo'lganda (o'tish rejimi):

$$Nu = 1,8(GrPr)^{0,125} \quad (7.10 b)$$

$GrPr = 500 \div 2 \cdot 10^7$  bo'lganda (laminar rejim):

$$Nu = 0,54(GrPr)^{0,25} \quad (7.10 v)$$

$GrPr > 2 \cdot 10^7$  bo'lganda (uyurmaviy rejim):

$$Nu = 0,135(GrPr)^{0,33} \quad (7.10 g)$$

Har bir issiqlik tashuvchi uchun (7.10) formulalar quyidagi ko'rinishga keltirilishi mumkin:

$500 < GrPr < 2 \cdot 10^7$  bo'lganda quvur, sfera va vertikal plitalar uchun

$$\alpha = A_1 (\Delta t / l)^{1/4} \quad (7.11 a)$$

$GrPr > 2 \cdot 10^7$  bo'lganda

$$\alpha = A_2 \Delta t^{1/4} \quad (7.11 b)$$

7.1-jadvalda suv uchun  $A_1$  va  $A_2$  koefitsiyentlarning qiymatlari keltirilgan.

7.1-jadval

(7.11 a) va (7.11 b) tenglamalarda suv uchun  $A_1$  va  $A_2$  koeffitsiyentlarning qiymatlari

| koeffitsiyent | harorat $t_{ch}$ , °C |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|               | 0                     | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 | 150 | 200 |
| $A_1$         | 70                    | 112 | 149 | 178 | 205 | 227 | 274 | 304 |
| $A_2$         | 102                   | 198 | 291 | 363 | 426 | 482 | 607 | 713 |

#### 7.4. Reaksiyon qurilmaning qizdirish yuzasini aniqlash.

O'tmas bug' bilan qizdiriluvchi reaksiyon qurilmaning suv qizdirgich-akkumulyatordan farqi ishlash prinsipida bo'lib, birinchidan nafaqat suvni yoki suyuqlikni qizdirish kerak, balki materialga ishlov berish amalga oshiriladi. Suv qizdirgich-akkumulyatorlarni hisoblashda metal konstruksiyani, qurilmani o'zini va uning tashqi izolyatsiyasini qizdirishga sarflangan issiqlik hisobga olinadi. Reaksiyon qurilmalarda odatda qurilma metal konstruksiyasini massasi va uning izolyatsiyasi bo'yicha qisqa vaqt ichida yuqori haroratgacha qizdirish amalga oshiriladi. Agar qurilmani, materialni, suyuqlikni, metal konstruksiyani va qurilma izolyatsiyani qizdirishda vaqtining har qanday momentida harorat bir xil deb qaralsa, u holda bu hisoblashni osonlashtiradi. Shuningdek, qurilmadan atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik kichik bo'lganda issiqlik hisoblarida uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

Yuqoridagi cheklashlardan kelib chiqib, reaksiyon qurilmani xisoblash quyidagicha amalga oshiriladi. Qurilmaning umumiy massasi aniqlanadi:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 \quad (7.12)$$

va qurilmaning solishtirma issiqlik sig'imi:

$$c = \frac{G_1 c_1 + G_2 c_2 + G_3 c_3 + G_4 c_4}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} \quad (7.13)$$

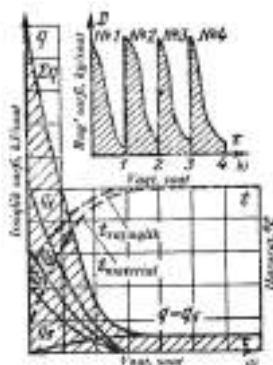
bu yerda  $G_1$ -reaksiyon qurilmaga yuklangan material miqdori,  $kg$ ;  $G_2$ -qurilmadagi suyuqlikning miqdori,  $kg$ ;  $G_3$ -qurilmaning metal konstruksiyasi massasi (og'irligi),  $kg$ ;  $G_4$ -izolyatsiyaning massasi (og'irligi),  $kg$ ;  $c_1, c_2, c_3, c_4$ -quruq material, suyuqlik, metall konstruksiya va izolyatsiyaning issiqlik sig'imi,  $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ .

Issiqlik sarfini va reaksiyon qurilmaning qizdirish yuzasini aniqlash uchun kimyoviy reaksiya issiqligini hisobga olish zarur. O'tmas bug' bilan qizdiriluvchi reaksiyon qurilmaning issiqlik uzatish yuzasini aniqlash uchun (7.2) formulani qo'llash mumkin, bunda  $G_2 c_2, G_4 c_4$  ga almashtiriladi.

Suv bilan qizdiriluvchi reaksiyon qurilmalarni hisoblashda suv bilan qizdiriluvchi suv qizdirgich-akkumulyatorlarni hisoblash uchun formulalardan foydalanish mumkin. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti issiqlik almashinuv shartidan aniqlanadi.

#### 7.5. Reaksiyon qurilmalarda issiqlik va bug' sarfi grafiklari.

Reaksiyon qurilmaning ishlash vaqti qizdirish davri va barqaror rejim davridan aniqlanadi, bu vaqtda qurilmada joylashgan ishlov berilayotgan material kerakli haroratgacha qizdiriladi. Shuningdek, qizdirish davri muhim hisoblanadi (3 soatgacha va undan ko'proq), moslama sig'imi esa ancha yuqori ( $100 m^3$  gacha va undan yuqori), ishga tushirish esa kam vaqtni talab etadi, buning uchun juda ko'p miqdorda bug' sarfi zarur bo'ladi. Material harorati kerakli haroratga yetgandan so'ng bug' faqatgina atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlikni qoplash uchun sarflanadi. 7.3, a-rasmda reaksiyon qurilmalar uchun issiqlik sarfining namunaviy grafigi ko'rsatilgan.



#### 7.3-rasm. Reaksiyon qurilmalarda issiqlik va bug' sarfi grafigi:

a-reaksiyon qurilmalarda issiqlik sarfi grafigi; b-reaksiyon qurilmalar ishga tushirilishida ketma-ket ulanganda bug' iste'moli grafigi;  $q_1, q_2, q_3$ -materialni, suyuqlikni va konstruksiyani o'zini qizdirishga sarflangan issiqlik miqdori;  $q_5$ -atrof-muhitga yo'qotilayotgan issiqlik;  $\Sigma q$ -issiqlikning yig'indi sarfi.

U qurilmani qizdirishning boshlang'ich vaqtida issiqlikning yuqori sarfi va o'rnatilgan rejim vaqtidagi kichik sarfi orasidagi katta farqni tavsiflaydi. Amaliyotda ko'p sonli reaksiyon qurilmalarni bir vaqtning o'zida ulashdan chetlaniladi, shuningdek, bir nechta qurilmalarni birdan ishga tushirish uzatish quvurlari va bug' qozoni tizimlarida bosimning birdan pasayishiga olib keladi. Bug' generatorlarining issiqlik yuklamasini ruxsat etilgan tebranishini ta'minlash uchun reaksiyon qurilmalar ketma-ket ulanib ishga tushiriladi. Reaksiyon qurilmalarning ishga tushirilishida ketma-ket ulangandagi bug' iste'molining yig'indi grafigi 7.3, b-rasmda ko'rsatilgan.

#### **Nazorat savollari.**

1. Suv bug'i bilan qizdiriluvchi qurilmalarni hisoblash tartibi qanday?
2. Issiq suv bilan qizdiriluvchi moslamalarni hisoblash tartibi qanday?
3. Davriy harakatli issiqlik almashinuv qurilmalarini qo'llanilish sohalarini ayting?
4. Davriy harakatli issiqlik almashinuv qurilmalarida suv harorati qanday o'zgaradi?
5. Suv-qizdirgich akkumulyatorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Reaksiyon qurilmalar haqida ma'lumot bering?
7. Reaksiyon qurilmalarning qizdirish yuzasini aniqlash tartibi qanday?
8. Davriy harakatli issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash tartibi qanday?

## **8-MA'RUZA**

## **ISSIQLIK ALMASHINUVINI JADALLASHTIRISH USULLARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### ***Ma'ruza rejas:***

- 8.1. Issiqlik almashinuvini jadallashtirish to'g'risida umumiy ma'lumot.
- 8.2. Ko'ndalang va spiralsimon vintli nakatka.
- 8.3. Sferik bo'rtiqlar.
- 8.4. Shnekli oqim buragichlar.
- 8.5. Buralgan lenta.
- 8.6. Lokal turbulizatorlar.

#### ***Mashg'ulotning maqsadi:***

Issiqlik almashinuvini jadallashtirish usullari to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

#### ***Talabanning o'quv faoliyati natijalari:***

- issiqlik almashinuvini jadallashtirish to'g'risida tushunchalar beriladi;
- ko'ndalang va spiralsimon vintli nakatka to'g'risida tushunchalar beriladi;
- sferik bo'rtiqlar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- shnekli oqim buragichlar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- buralgan lenta to'g'risida tushunchalar beriladi;
- lokal turbulizatorlar to'g'risida tushunchalar beriladi

**Nazorat shakli:** Og'zaki nazorat: savol-javob

**Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball:** \_\_\_\_\_

**O'qituvchi imzosi:** \_\_\_\_\_

**Tayanch iboralar:** turbulizator, jadallashtirish, nakatka, chuqurcha, bo'rtiq, aylantirigich, uyurmalgich, burama, g'adir-budirlik, qovurg'a.

### **8.1. Issiqlik almashinuvini jadallashtirish to'g'risida umumiy ma'lumot.**

Hozirgi vaqtda energotexnologik qurilmalarning energiya va resurs tejamkorligini oshirishning asoslangan texnik va iqtisodiy yo'llaridan biri – issiqlik almashinuv qurilmalarini takomillashtirish hisoblanadi.

Hozirgi kunda sanoat va energetika sohasidagi issiqlik almashinuv qurilmalarining taxminan 80÷90% qismini asosan quvurchali issiqlik almashinuv qurilmalari tashkil etadi. Ularning asosiy afzalligi – ishchi haroratlari va bosimlari ko‘lamlarining kengligi, sanoatning turli sohalarida foydalanish imkoniyati, konstruksiyasini soddaligi va xizmat ko‘rsatishda osonligi hisoblanadi. Ammo sanoatda qo‘llanilayotgan quvurchali issiqlik almashinuv qurilmalarining aksariyat qismini energetik ko‘rsatkichlari talab darajasida emas.

Issiqlik almashinuv qurilmasining issiqlik xarakteristikalarini ortishiga, energiya va resurs tejashiga, qurilma narxini arzonlashishiga hamda ekologiyaga ta‘sirini kamayishiga quyilgan texnik talablar, issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik almashinuvini jadallashtirishning turli usullarini ishlab chiqishga va foydalanishga olib keldi. Ushbu usullar issiqlik almashinuvini jadallashtirish deb nomlandi. Demak, issiqlik almashinuv qurilmalarining quvurlarida issiqlik almashinuvini jadallashtirish – issiqlik almashinuv qurilmasining tashqi o‘lchamlarini kichraytirish va massasini kamaytirishning eng oqilona usuli hisoblanadi.

Dunyo amaliyotida issiqlik almashinuvini jadallashtirish bilan issiqlik almashinuv qurilmalarining energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan. Dunyoning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta‘lim muassasalari, jumladan University of Michigan (AQSH), Moskva energetika instituti (Rossiya), Moskva aviatsiya instituti (Rossiya), Kazan davlat texnika universiteti (Rossiya), Toshkent davlat texnika universiteti (O‘zbekiston), Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti (O‘zbekiston) shuningdek ilmiy ishlab chiqarish birlashmalarida «Babcock Wanson» (AQSH), «Omnimat» (Germaniya), «HRS Group» (Ispaniya), «Blue-Ridge Company» (AQSH), «Energy Transfer MDE» (AQSH), «UK Exchangers Ltd» (Buyuk Britaniya), «Osaka Steel Tube» (Yaponiya), shuningdek Rossiyada «Gidrotermal» MCHJ, «Uralkotlomash» YOAJ, «Biyskenergomash» MCHJ va boshqalarda keng qamrovli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Dunyoning yetakchi olimlari, jumladan B.A. Veyya, V.K. Shukin, A.F. Kovalnogov, V.K. Migay, A.A. Xalatrovlar shnekli oqim buragichlarni ishlab chiqishgan, A. Klachak, YE. Smitberg, A.YE. Bergles, V.K. Yermolin, M.X. Ibragimovlar buralgan lentali jadallashtirgichlarni ishlab chiqishgan, D.K. Kern, A.D. Kraus, A.R. Gay, V.K. Migay, I.F. Novojilovlar plastinali spiralsimon o‘rnatmalarni ishlab chiqishgan, O. Kumar, A. Klachak, S.V. Utarvar, Y.G. Nazmeyer, N.V. Zozulyalar spiralsimon simli prujinani taklif qilishgan, E.K. Kalinin, G.A. Dreyser, Y.A. Kuzma-Kichta, S.A. Yarxo, S.G. Zokirovlar quvur yuzasini ko‘ndalang va spiralsimon nakatkalash usulini ishlab chiqishgan, Y.F. Gortishev, I.A. Popov, V.V. Olimpiyev, A.A. Xalatrovlar quvur yuzasini chuqurlash orqali issiqlik almashinuvini jadallashtirish usulini ishlab chiqishgan.

O‘zbekistonda issiqlik va massa almashinuv qurilmalarining energiya samaradorligini oshirishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqotlarga muhim hissa qo‘shganlar: R.A. Zohidov, N.R. Yusupbekov, D.N. Muxiddinov, R.R. Avezov, S.G. Zokirov, Z.S. Salimov, YO.S. Abbosov, G‘.N. Uzoqov, R.P. Babaxodjayev va boshqalar. Issiqlik almashinuv qurilmasining energiya samaradorligini oshirish uchun lokal turbulizatoridan foydalanish D.N. Muxiddinov, R.P. Babaxodjayev va U.X. Ibragimovlar tomonidan tadqiqot qilingan va ilmiy natijalarga erishilgan.

Hozirgi vaqtga qadar konvektiv issiqlik almashinuvini jadallashtirishning juda ko‘p usullari taklif etilgan va tadqiqot qilingan. Issiqlik almashinuvini jadallashtirishning o‘n olti xil usullari tasniflangan hamda passiv va aktiv usullarga ajratilgan. Ushbu ikkita kategoriyaga kiruvchi issiqlik almashinuvini jadallashtirish usullari 1.1-jadvalda keltirilgan.

1.1-jadval

#### Issiqlik almashinuvini jadallashtirish usullarining tasnifi

| Passiv usullar                     | Aktiv usullar               |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Ishlov berilgan yuzalar         | 1. Mexanik aralashtirish    |
| 2. G‘adir-budir yuzalar            | 2. Yuzalarni vibratsiyalash |
| 3. Rivojlantirilgan yuzalar        | 3. Oqim pulsatsiyasi        |
| 4. Aralashtiruvchi moslamalar      | 4. Elektrostatik maydon     |
| 5. Oqimni burovchi moslamalar      | 5. Injektsiya               |
| 6. Zmeyeviklar                     | 6. So‘rish                  |
| 7. Sirt taranglik moslamasi        | 7. Purkovchi moslamalar     |
| 8. Suyuqliklar uchun qo‘shimchalar |                             |

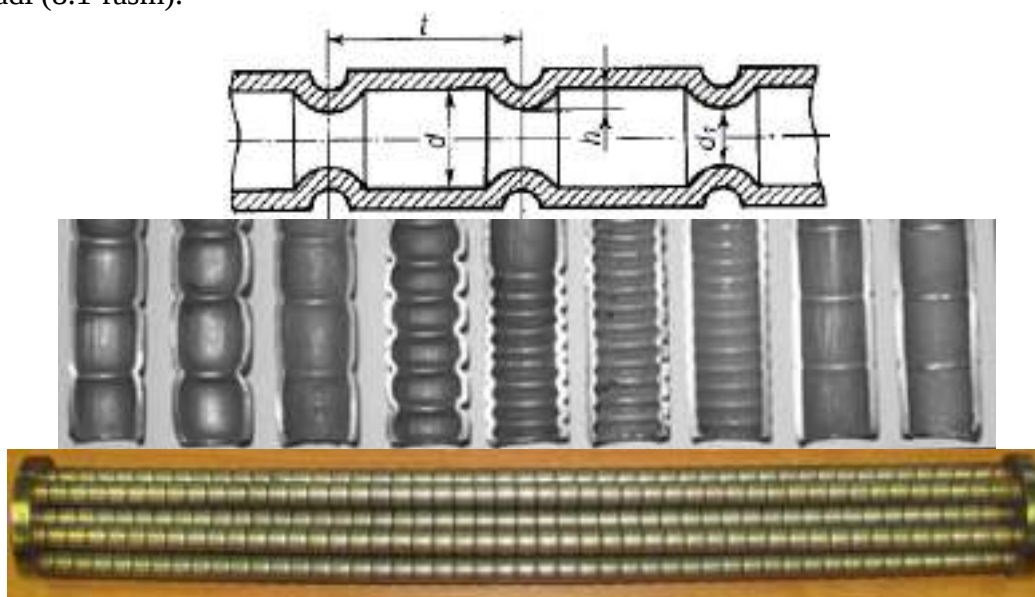
|                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------|--|
| 8. Gazlar uchun qo'shimchalar                                            |  |
| Murakkab usullar                                                         |  |
| Bir vaqtda ikki yoki undan ko'p passiv yoki aktiv usullardan foydalanish |  |

Usullarning asosiy farqi shundaki, passiv usullar, aktiv usullardan farqli ravishda jadallashtirish uchun tashqi energiya uzatilishini talab etmaydi. Aktiv usullarda tashqi energiya uzatish orqali oqimga ta'sir etiladi va quvurlarda issiqlik almashinuvi jadallashtiriladi.

Issiqlik almashinuvini jadallashtirish usullarini qo'llab har qanday issiqlik almashinuv qurilmasini yaratish natijasida quyidagilarga erishiladi: metall sig'imi kamayadi, tashqi o'lchamlari kichrayadi, yuzalardagi haroratlar pasayadi, ishonchlilik ortadi, moslamaning ishlash davomiyligi ortadi.

### 8.2. Ko'ndalang va spiralsimon vintli nakatka.

Quvurchali issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlik almashinuvini jadallashtirish uchun Moskva aviatsiya institutining olimlari E.K. Kalinin, G.A. Dreyser, YE.V. Dubrovsk, S.A. Yarxo va G.I. Voroninlar tomonidan davriy halqali bo'rtmalar ishlab chiqilgan. Taklif etilgan usulning mohiyati quyidagicha. Quvurning tashqi yuzasida nakatkalash yordamida davriy joylashgan halqali ariqchalar hosil qilinadi (8.1-rasm).



**8.1-rasm. Ko'ndalang halqali nakatkalangan quvur:**

$t$ -nakatka qadami;  $h$ -bo'rtma balandligi;  $d$ -quvurning ichki diametri;  $d_1$ -bo'rtma zonasida quvurning minimal diametri.

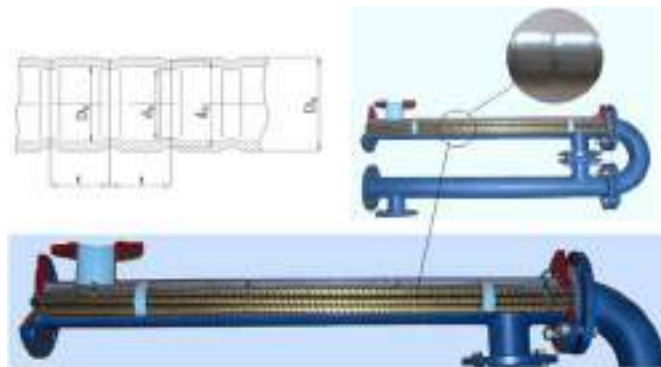
Bunda quvurning ichki yuzasida ravon konfiguratsiyali halqali diafragmalar hosil bo'ladi. Halqali diafragma va ariqchalar qovushqoq laminar chegaraviy qatlamdagi oqimni turbulizatsiyalaydi hamda quvurning tashqi va ichki tomonlarida issiqlik almashinuvi jadallashishini ta'minlaydi. Bunda quvurlar to'plamining tashqi diametri oshmaydi va issiqlik almashinuv qurilmalarini yig'ishning amaldagi texnologiyasi o'zgarmaydi.

Ko'ndalang halqali nakatlangan quvurlardan tayyorlangan suv-suvli qizdirgich issiqlik ta'minoti tizimi uchun qo'llanilgan (8.2-rasm.).

Ordjonikidze (Rossiya) nomli zavod gaz turbina qurilmalarining regenerativ havo qizdirgichlari uchun nakatkali quvurlardan foydalaniladi (8.3-rasm). Nakatkali quvurlar quyidagi xarakteristikalar bo'yicha tayyorlanadi: quvurlarning diametri 12÷57 mm, quvur devorining qalinligi 1÷4 mm, quvurning maksimal uzunligi 12000 mm, botiq chuqurligi 0,5÷2,5 mm, chuqurcha qadami 8÷40 mm.

HRS Group (Ispaniya) korporatsiyasining Germaniya, Buyuk Britaniya, AQSH, Hindiston, Birlashgan Arab Amirliklarida qator filiallari mavjud bo'lib, Ecoflux deb nomlangan profillangan quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlab chiqaradi (8.4-rasm).

Profillashning bunday turlari Reynoldsning kichik son qiymatlarida va bosim yo'qotilishi minimal bo'lganda issiqlik berish darajasini sezilarli oshiradi. Bu quvurlarda gazlar va suyuqliklar oqimi harakat rejimini laminardan turbulentga erta o'tishi bilan bog'liq.



**8.2-rasm. Ko'ndalang halqali nakatkali quvur ichida quvur turidagi issiqlik almashinuv qurilmasi.**



**8.3-rasm. Nakatkali quvurlarning umumiy ko'rinishi.**



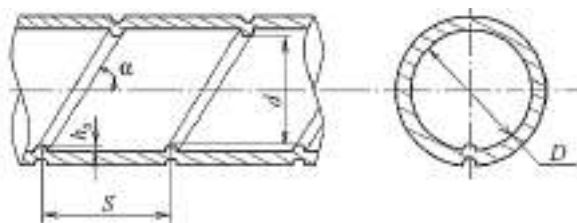
**8.4-rasm. HRS Group (Ispaniya) korporatsiyasining profillangan quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari.**

HRS Group (Ispaniya) korporatsiyasining profillangan quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari (8.4-rasm) energetika, oziq-ovqat, neftni qayta ishlash va kimyo sanoatlarida kondensatorlar, sovitgichlar va qizdirgichlar, bug'latgichlar sifatida qo'llash uchun mo'ljallangan.

Demak, uzlukli g'adir-budir kanallarning issiqlik-gidravlik xususiyatlarining tahlilidan quyidagicha xulosa qilish mumkin, ya'ni quvurlarda issiqlik tashuvchilarning turbulent oqimida ko'ndalang bo'rtmalar shaklidagi jadallashtirgichlar energoqurilmaning o'z ehtiyojlariga elektr energiyasi sarfini 5÷26% ga qisqartiradi. Shuningdek, issiqlik almashinuv qurilmasining quvurlar to'plamini tayyorlashga materiallarni tejalishi Re soniga bog'liq holda 30÷61% ni tashkil etadi.

Spiralsimon vintli nakatka issiqlik almashinuv qurilmalarida keng qo'llaniladi (8.5-rasm.). Nakatka tokar dastgohida tayyorlanadi. Amaliyotda massaviy ishlab chiqarish uchun tayyorlash jarayoni mexanizatsiyalashtiriladi va bunday quvurlar rolikli mashinada tayyorlanadi.

BlueRidge Company (AQSH) kompaniyasi quvurlari spiralsimon nakatka qilingan qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasini ishlab chiqaradi (8.6-rasm). Quvur materiali – 316L po'lat yoki titan. Issiqlik almashinuv qurilmasi issiqlik tashuvchilarning yuqori tezligi va kichik bosimiga loyihalangan. Bu qurilmalar issiqlik rekuperatori, suvli moy sovitgich va suv qizdirgich sifatida qo'llaniladi.



**8.5-rasm. Spiralsimon vintli nakatkaning umumiy ko‘rinishi.**



**8.6-rasm. BlueRidge Company (AQSH) kompaniyasining quvurlari spiralsimon nakatka qilingan qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi.**

Energy Transfer MDE (AQSH) kompaniyasi spiralsimon nakatkali quvurlarni ishlab chiqarishga ixtisoslashgan (8.7-rasm). Spiralsimon nakatka issiqlik almashinuv yuzasini ortishiga olib keladi va quvurning ikki tomonida ham issiqlik tashuvchilar oqimini turbulizatsiyalaydi, bu esa issiqlik uzatishni ortishiga olib keladi. Ushbu quvurlar kondensatorlar, umumiy maqsadli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari va sovitish texnikasi uchun mo‘ljallangan. Quvurlar nakatka qadami va chuqurligiga bog‘liq holda juda ko‘p variantlarda tayyorlanadi.



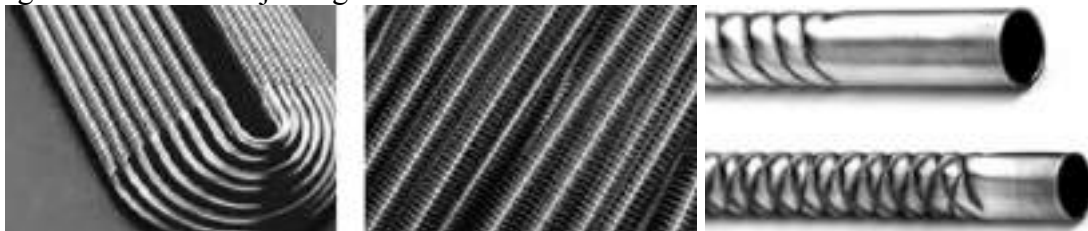
**8.7-rasm. Energy Transfer MDE (AQSH) kompaniyasining spiralsimon nakatkali issiqlik almashinuv quvurlari.**

Thermaline Inc. (AQSH) kompaniyasi oziq-ovqat sanoati va farmatsevtika uchun spiralsimon nakatkali quvurlar asosidagi issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlab chiqaradi (8.8-rasm). Quvurlar 316, 304 po‘latlardan va AL6-XN qotishmasidan tayyorlanadi.



**8.8-rasm. Thermaline Inc. (AQSH) kompaniyasining spiralsimon nakatkali quvurlar asosidagi issiqlik almashinuv qurilmalari.**

MPG Mendener Prazisionsrohr (Germaniya) kompaniyasi qovurg'ali, bimetallik va profillangan issiqlik almashinuv quvurlarini ishlab chiqarishga ixtisoslashgan (8.9-rasm). Quvurlarning diametri  $8\div 63$  mm, devorining qalinligi  $0,5\div 3$  mm, uzunligi 12500 mm. Quvurlar mis va uning qotishmalari, titan, zanglamaydigan va uglerodli po'lat, nikel qotishmalari va alyuminiydan tayyorlanadi. Issiqlik almashinuv quvurlari oziq-ovqat va farmatsevtika sanoati, sovitish qurilmalari, havo va moy sovitgichlar va bug'latgichlar uchun mo'ljallangan.



**8.9-rasm. MPG Mendener Prazisionsrohr kompaniyasining spiralsimon nakatkali issiqlik almashinuv quvurlari.**

Raypak (AQSH/Kanada) kompaniyasi bug'latgichlar uchun spiral nakatkali quvurlarni ishlab chiqaradi (8.10-rasm). Ushbu quvurlardan qozon qurilmalarida ham foydalanish mumkin. Quvur materiali titan. Oqimni uyurmalanishi quvurlarning ichki yuzalarini ifloslanish darajasini pasaytiradi. Shunga o'xshash quvurlar Guangzhou Mingfeng Copper Capillary Tube Co., Ltd. (Xitoy) kompaniyasi tomonidan ham ishlab chiqariladi (8.11-rasm).

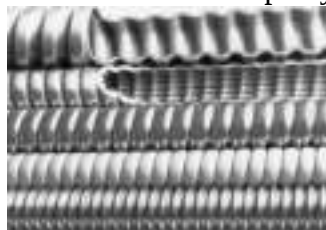


**8.10-rasm. Raypak kompaniyasining chuqur spiralsimon nakatkali quvurlari.**



**8.11-rasm. Guangzhou Mingfeng Copper Capillary Tube Co., Ltd. kompaniyasining spiralsimon nakatkali quvurlari.**

Osaka Steel Tube (Yaponiya) kompaniyasi uglerodli va zanglamaydigan po'latdan, mis va uning qotishmalaridan spiral nakatkali quvurlarni ishlab chiqaradi (8.12-rasm). Quvurlar qozon qurilmalari, maromlash va isitish tizimlari, issiqlikni utilizatsiyalash tizimlari uchun mo'ljallangan. Xuddif shunday spiralsimon nakatkali yoki bo'ylama to'liqinsimon chuqurchali profillangan quvurlarni Xitoyning Tonglian Stainless Steel Materials Co kompaniyasi ham ishlab chiqaradi (8.13-rasm).

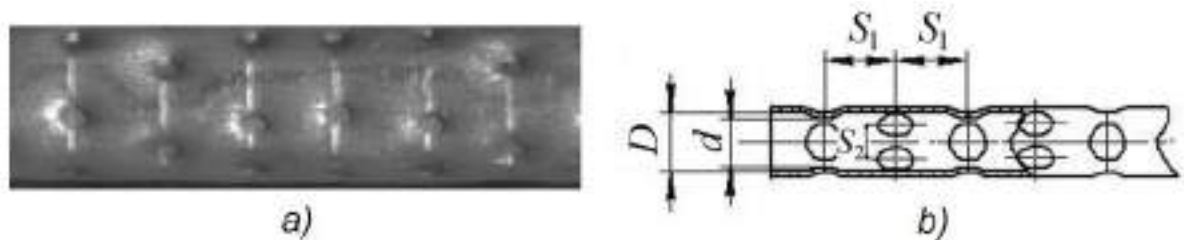


**8.12-rasm. Osaka Steel Tube jadallashtirilgan quvurlari.**

**8.13-rasm. Tonglian Stainless Steel Materials Co kompaniyasining spiralsimon nakatkali va bo'ylama to'liqinsimon chuqurchali profillangan quvurlari.**

### **8.3. Sferik bo'rtiqlar.**

So'nggi yillarda sferik chuqurchali yuzalarda issiqlik almashinuv va ishqalanishni tadqiqotiga bag'ishlangan ko'pgina ishlar namoyon bo'lib, ularning natijalariga ko'ra bunday chuqurchalar gidravlik qarshilikni o'rtacha ortishida ham issiqlik berishni sezilarli jadallashtiradi (8.14-rasm).



**8.14-rasm. Sferik bo‘rtliqli quvurning umumiy ko‘rinishi (a) va geometrik xarakteristikasi (b).**

HRS Group (Ispaniya) korporatsiyasi tashqi yuzasida sferik chuqurcha mavjud bo‘lgan Ecoflux profillangan quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlab chiqaradi (8.15-rasm).



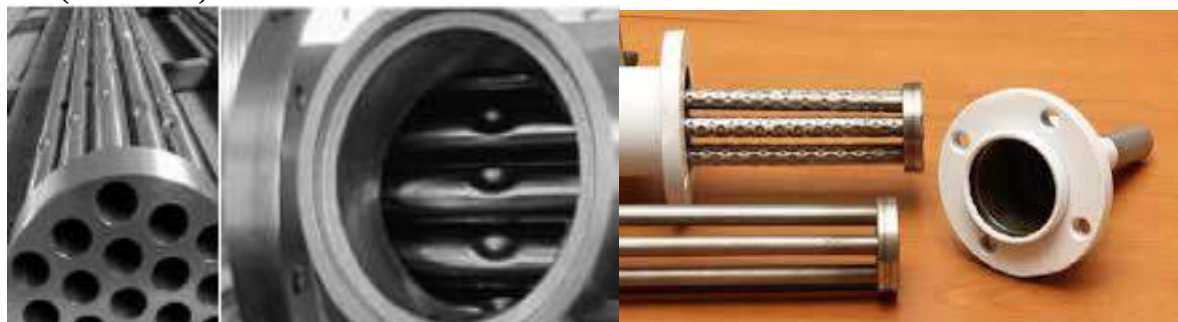
**8.15-rasm. HRS Group (Ispaniya) korporatsiyasining sferik chuqurchali quvurlari: yirik chuqurchali va mayda chuqurchali.**

Teralba Industries (Avstraliya) kompaniyasi sferik chuqurchali profillangan quvurli Dimpleflo seriyali qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlab chiqaradi (8.16-rasm).



**8.16-rasm. Teralba Industries (Avstraliya) kompaniyasining sferik chuqurchali profillangan quvurli Dimpleflo seriyali qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari.**

JBT FoodTech (AQSH) kompaniyasi oziq-ovqat sanoati uchun qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarini va “quvur ichida quvur” turidagi issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlab chiqaradi (8.17-rasm).



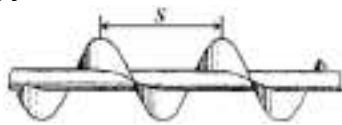
**8.17-rasm. JBT FoodTech (AQSH) kompaniyasining sferik chuqurchali profillangan quvurli qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalari.**

Sferik chuqurchali yuzalardan foydalanish, gidravlik qarshilikni o‘rtacha ortishida issiqlik almashinuvini 1,5÷4,5 martaga ortishini ta‘minlaydi. Bugungi kunda ushbu usul issiqlik berish va gidravlik qarshilikni ortishidagi munosabat nuqtai nazaridan eng samarali jadallashtirish usuli hisoblanadi. Tekis yuzalarda chuqurchalarni hosil qilish texnologiyasi sodda bo‘lib, issiqlik almashinuv qurilmasining narxiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatmaydi.

### **8.3. Shnekli oqim buragichlar.**

Issiqlik almashinuvini jadallashtirishni texnologik jihatdan sodda bo‘lgan shnekli oqim buragichlar yordamida amalga oshirish mumkin (8.18-rasm). Shnekli oqim buragichlar deformatsiyalangan lentalarni sterjen-o‘zakka payvandlash yoki mexanik ishlov berish yordamida

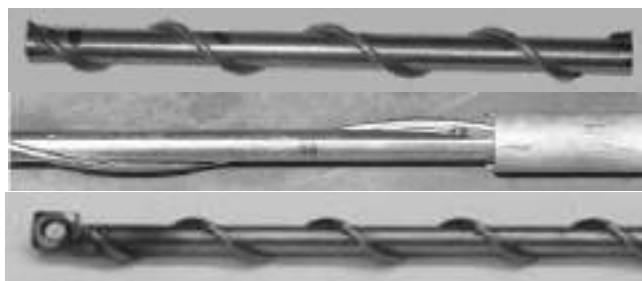
tayyorlanadi. Vintsimon oʻrnatmalarni tayyorlash uchun zarur boʻlgan lentalar silliq (odatda rangli) metaldan tayyorlanadi.



**8.18-rasm. Shnekli oqim buragichlar.**

Mongkuta (Tailand) qirollik texnologiya instituti quyosh havo qizdirgichlari uchun ichki issiqlik almashinuvi jadallashgan quvurlardan foydalanishni taklif etgan, bunda tekis sim spiralsimon oʻralgan sterjen-oʻzak quvurlarning ichiga uzluksiz yoki uzlukli ravishda oʻrnatiladi (8.19-rasm). Bundan tashqari, markaziy sterjenga buralgan simni markaz boʻyicha oʻrnatish shnekli oqim buragichlar hosil boʻlishini taʼminlaydi.

Koch Heat Transfer Company LP (AQSH) korporatsiyasining Brown Fintube (AQSH) kompaniyasi issiqlik almashinuv qurilmalari uchun shnekli jadallashtirgichlarni taklif etgan (8.19-rasm). Quvurning kirish qismida va qisqa quvurlarda oʻrnatilgan shnekli oqim buragichlar issiqlik almashinuvini bir necha marta jadallashtiradi, yetarlicha uzun quvurlarda (diametridan 50÷60 marta katta va undan yuqori) issiqlik berishni 1,5-2 marta ortishini taʼminlaydi.



**8.19-rasm. Brown Fintube (AQSH) kompaniyasining issiqlik almashinuv qurilmalari uchun taklif etgan shnekli jadallashtirgichlari.**

Olib borilgan tadqiqot ishlarida keltirilgan maʼlumotlarga koʻra, shnekli oqim buragichlar Reynolds sonining  $10^3 \div 10^4$  oraliqlarida issiqlik berish koeffitsiyentini 1,6÷2,5 martagacha ortishini taʼminlaydi. Demak, oqimni burash orqali issiqlik almashinuvini jadallashtirish usulini quyoshli havo qizdirgichning gelio qabul qilgichlarining kanallarida qoʻllash istiqbolli hisoblanadi, biroq oqimni burovchi moslamalar metal sarfini oshiradi, natijada havo qizdirgichlarning massasi ortadi.

Shnekli oqim buragichlarning kamchiligi shundaki, zamonaviy issiqlik almashinuv qurilmasini tayyorlash uchun koʻp miqdordagi listli material sarflanadi. Masalan, diametri  $d = 30 \times 2 \text{ mm}$  boʻlgan quvurlar uchun metal sarfi va issiqlik almashinuv qurilmasining massasi taxminan 15% ga ortadi. Shuningdek shnekli oqim buragichlar qoʻllanilganda issiqlik berish koeffitsiyenti 30÷40% ga ortganda gidravlik qarshilik koeffitsiyenti 1,5÷2,5 marta ortadi. Bundan tashqari, Re sonini ortishi bilan shnekli oqim buragichlarning samaradorligi kamayadi. Shnekli oqim buragichlarni ifloslangan oqimlarda qoʻllash qoʻshimcha qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi.

#### **8.4. Buralgan lenta.**

Buralgan lentalar – quvurlarda oqimni burash uchun eng samarali va keng qoʻllaniladigan usul hisoblanadi. Ularni oʻrnatish va montaj qilish texnologiyasini osonligi (8.20, a-rasm), buralgan lentalarni ifloslangan muhitlarda issiqlik almashinuvida ham qoʻllash imkonini beradi.

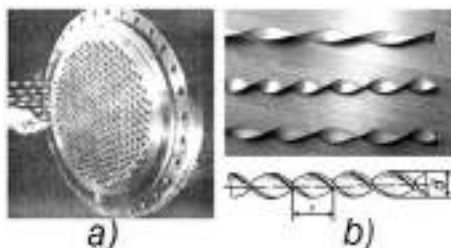
Buralgan lentaning xarakterli geometrik parametrlari – buralish qadami  $s$ , lentalarni  $180^\circ$  ga burilishini xarakterlaydi, lentaning qalinligi  $\delta$  va buralgan lentaning egrilik radiusi, u odatda kanalning diametriga  $D$  teng (8.20, b-rasm).

Buralgan lentalar asosan harakatdagi qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarining issiqlik quvvatini (unumdorligini) oshirish uchun keng qoʻllaniladi.

Koch Heat Transfer (AQSH) kompaniyasi guruhiga kiruvchi Brown Fintube (AQSH) kompaniyasi buralgan lentalar shaklidagi jadallashtirgichlarni taklif etgan (8.21-rasm).

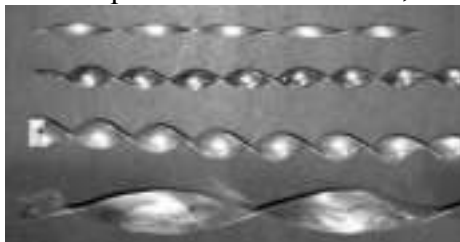
Bunday turdagi jadallashtirgichlardan foydalanish harakatdagi qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmalarini tez modernizatsiyalashni va ularning samaradorligini oshirishni taʼminlaydi.

Qovushqoq suyuqliklar uchun buralgan lentali quvurlardan foydalanilganda, bosimning oʻrtacha yoʻqotilishida quvurlarda issiqlik berishni ortishi 300% gacha yetadi. Brown Fintube kompaniyasi tomonidan taklif etilgan issiqlik almashinuv qurilmalarida buralgan lentalar oʻrnatilganda issiqlik almashinuv qurilmasining issiqlik quvvati 50% gacha ortadi, bunda issiqlik almashinuv qurilmasining narxi 10% ga qimmatlashadi.



**8.20-rasm. Buralgan lenta shaklidagi oʻrnatmalar:**

a – qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasida oʻrnatilishi; b – xarakterli geometrik parametrlar.



**8.21-rasm. Brown Fintube kompaniyasining buralgan lentalar shaklidagi issiqlik almashinuvini jadallashtirgichlar.**

Nitram Energy, Inc (AQSH) korporatsiyasining Alco Products (AQSH) kompaniyasi qovurgʻali quvurlardan tashqari, quvurchali issiqlik almashinuv qurilmalari uchun buralgan lentalar shaklidagi oʻrnatmalar – turbulizatorlarni ishlab chiqaradi (8.22-rasm). Ishlab chiqaruvchilarni taʼkidlashicha, oqimni turbulizatsiyalanishi hisobiga issiqlik berish koeffitsiyenti 3÷5 martagacha ortadi. Ushbu turbulizatorlarning asosiy afzalligi ularni oʻrnatish va montaj qilishda soddaligidir.



**8.22-rasm. Alco Products (AQSH) kompaniyasining buralgan lentalar shaklidagi jadallashtirgichlari.**

Energy Transfer MDE (AQSH) kompaniyasi ham quvurning ichida issiqlik almashinuvini jadallashtirgich sifatida buralgan lentalarini taklif etgan (8.23-rasm).



**8.23-rasm. Energy Transfer MDE kompaniyasining buralgan lentalar shaklidagi jadallashtirgichlari.**

Chemineer Inc. (AQSH) firmasi oziq-ovqat sanoati uchun issiqlik almashinuv qurilmalarini taklif etgan. Oziq-ovqat sanoatida ishchi muhit odatda qovushqoq suyuqlik – qandaydir mahsulot

hisoblanadi. Issiqlik bilan ishlov berishda mahsulot bir vaqtning o'zida aralashtirilishi ham kerak. Ushbu maqsadlar uchun Chemineer Inc. firmasi ichki quvurlariga buralgan lentalar o'rnatilgan qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi ishlab chiqaradi (8.24-rasm).

Buralgan lentalar laminar va o'tish sohasi rejimlarida juda samarali bo'lib, ular gidravlik qarshilik taxminan bir xil ortganda issiqlik berishni bir necha marta (10 martagacha) ortishini ta'minlaydi. Laminar oqim rejimi uchun buralgan lentaning eng maqbul qadamlarida ( $s=(6\div10)d$ ) issiqlik almashinuv yuzasi  $1,6\div1,7$  martagacha qisqaradi yoki issiqlik tashuvchilarni haydashga silliq quvur bilan taqqoslanganda  $6\div8\%$  gacha energiya kam sarflanadi. Bunda issiqlik tashuvchilarning optimal tezligi taxminan 2 martagacha kamayadi. Turbulent oqim rejimida buralgan lentadan foydalanilganda issiqlik berish  $1,5\div2$  martagacha ortadi.



**8.24-rasm. Chemineer Inc. firmasining quvurlarida buralgan lentalar o'rnatilgan issiqlik almashinuv qurilmasi.**

### 8.5. Lokal turbulizatorlar.

Issiqlik almashinuv qurilmalarining quvurlarida gidrodinamik holatni yaxshilash, issiqlik almashinuvni jadallashtirish va issiqlik almashinuv yuzalarida qatlamlar hosil bo'lish tezligini kamaytirish maqsadida quvur ichiga turli geometrik shakllardagi (besh xil konstruksiya) lokal turbulizator (LT) larni o'rnatish taklif etilgan. Taklif etilgan LTlarning konstruksiyalari va asosiy geometrik xarakteristiklari 8.1-jadvalda keltirilgan.

8.1-jadval

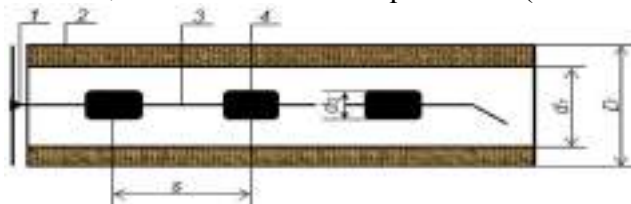
**LTlarning konstruksiyalari va asosiy geometrik xarakteristiklari**

| № | Konstruksiyalari | Tashqi ko'rinishi |
|---|------------------|-------------------|
| 1 |                  |                   |
| 2 |                  |                   |
| 3 |                  |                   |
| 4 |                  |                   |
| 5 |                  |                   |

Silindrsimon LTlar o'rnatilgan issiqlik almashinuv qurilmasining quvurida suyuqlik oqimini turbulizatsiyalash jarayonining fizik modelini ko'rib chiqamiz (8.25-rasm). Polimer ip (PI) va

mikrog'ovakli rezina (MG'R) dan turli geometrik shakllarda tayyorlangan turbulizatorlar LTning asosiy elementlari hisoblanadi. Turbulizatorlar PIga belgilangan qadam bilan tiziladi.

LT quvur ichiga o'rnatiladi, polimer ipning 3 birinchi uchi quvurning 2 kirish qismida joylashgan maxsus panjaraga 1 mahkamlanadi, ikkinchi uchi bo'sh qoldiriladi (8.26-rasm).



**8.16-rasm. LTli eksperimental quvurning ko'rinishi:**

1-LTni mahkamlash joyi; 2-issiqlik almashinuv qurilmasi quvuri; 3-polimer ip; 4-mikrog'ovakli rezinadan tayyorlangan turbulizatorlar;  $D$ -quvurning tashqi diametri;  $d_1$ -quvurning ichki diametri;  $d_2$ -turbulizator diametri;  $s$ -turbulizator qadami.



**8.17-rasm. LTli quvurning umumiy ko'rinishi.**

LT quvurning ichiga o'rnatiladi va quvurning bir qancha hajmini egallaydi. Buning hisobiga kanalning o'tish kesimi o'zgaradi, ya'ni LT va quvur devori orasidagi masofa qisqaradi va issiqlik tashuvchini o'tishi uchun kanalni keskin torayishi sodir bo'ladi, natijada issiqlik tashuvchi faqatgina devor oldi zonalaridan o'tadi va qovushqoq chegaraviy laminar qatlamni harakatga keltiradi.

Shuningdek issiqlik tashuvchining oqimi LT yuzasini yuvadi, mikrog'ovakli rezina qo'zg'atilishi natijasida bosim pulsatsiyasi yuzaga keladi. LTga o'zgaruvchan gidrodinamik kuchlar ta'sir etadi va tebranish boshlanadi. LTni tebranishi hisobiga oqim holati buziladi va butun oqim turbulizatsiyalanadi.

#### ***Nazorat savollari.***

1. Issiqlik almashinuvini jadallashtirish usullarini ayting?
2. Issiqlik almashinuvini jadallashtirishning afzalligi va kamchiliklarini ayting?
3. Quvurni ichki qovurg'alashni ish prinsipini tushuntiring?
4. Quvurni nakatkalashning afzalliklari va kamchiliklarini tushuntiring?
5. Vintsimon nakatkali quvurning ishlash prinsipini tushuntiring?
6. Sun'iy g'adir-budirlikni oshirish uchun qanday usullar qo'llaniladi?
7. Sferik bo'rtliqlik quvurlar qayerlarda va qanday maqsadlarda qo'llaniladi?

## **9-MA'RUZA**

## **REGENERATIV IAQLARINING KONSTRUKSIYALARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### ***Ma'ruza rejasi:***

- 9.1. Regenerativ issiqlik almashinuvi qurilmalarini qo'llanilish sohalari.
- 9.2. Regeneratorlarda qo'llaniladigan nasadkalarining turlari.
- 9.3. Domna pechining regeneratorlari.
- 9.4. Marten pechining regeneratorlari.
- 9.5. Havo ajratish qurilmasining regeneratorlari.

#### ***Mashg'ulotning maqsadi:***

Regenerativ issiqlik almashinuv qurilmalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

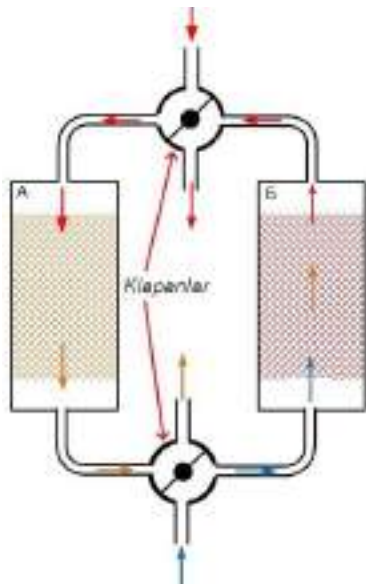
#### ***Talabaning o'quv faoliyati natijalari:***

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- regenerativ issiqlik almashinuvi qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- regeneratorlarda qo'llaniladigan nasadkalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- domna pechining regeneratorlari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- marten pechining regeneratorlari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- havo ajratish qurilmasining regeneratorlari to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Tayanch iboralar:</b> regenerator, nasadka, regenerativ havo qizdirgich, domna pechi, marten pechi, issiqlik almashinuv.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### 9.1. Regenerativ issiqlik almashinuvi qurilmalarini qo'llanilish sohalari.

Issiqlik tashuvchilar o'rtasidagi haroratlar farqi katta bo'lgan oraliqlarda ishlovchi issiqlik texnologik tizimlarning samaradorligini oshirish uchun regenerativ issiqlik almashinuv qurilmalarini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Regenerativ issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlikni bir issiqlik tashuvchidan boshqa issiqlik tashuvchiga uzatish issiqlikni jamlovchi (akkumulyatsiya) massalar, ya'ni nasadkalar yordamida amalga oshiriladi. Nasadka davriy ravishda issiq va sovuq issiqlik tashuvchilar tomonidan yuvilib turadi.



**9.1-rasm. Qo'zg'almas nasadkali regeneratorning sxemasi.**

Birinchi davr mobaynida (nasadkani qizdirish davrida) qurilma orqali issiq issiqlik tashuvchi o'tkaziladi, bunda uning issiqligi nasadkani qizdirishga sarflanadi. Ikkinchi davr mobaynida (nasadkani sovitish davrida) qurilma orqali sovuq issiqlik tashuvchi o'tkaziladi va u nasadkada jamlangan issiqlik hisobiga qiziydi. Nasadkani qizdirish va sovitish davri bir necha daqiqadan bir necha soatgacha davom etadi.

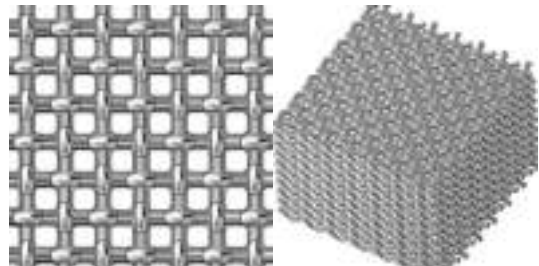
Bir issiqlik tashuvchidan boshqa issiqlik tashuvchiga issiqlikni uzluksiz uzatish uchun ikkita regenerator zarur (9.1-rasm): bir vaqtning o'zida ularning birida issiqlik tashuvchini sovitish amalga oshiriladi, ikkinchisida esa issiqlik tashuvchi qizdiriladi. So'ngra moslamalar almashlab ulanadi, undan keyin ularning har birida issiqlik uzatilishi teskari yo'nalishda ro'y beradi. Regeneratorlar juftlarini almashlab ulash va ulanish sxemalari 9.1-rasmda keltirilgan. Almashlab ulash klapanlarning holatini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Issiqlik tashuvchilarning harakat yo'nalishi strelkalar bilan ko'rsatilgan. Odatda regeneratorlarni almashlab ulash belgilangan vaqt oralig'idan keyin avtomatik tarzda amalga oshiriladi.

### 9.2. Regeneratorlarda qo'llaniladigan nasadkalarining turlari.

Regeneratorning asosiy elementi bo'lib, uning ishlash vaqtida asosiy samaradorlikni bildiruvchi nasadka hisoblanadi. Regeneratorlarida qo'llaniladigan nasadkalarining asosiy turlari 9.2-rasmda ko'rsatilgan.



alyuminli gofrlangan lentadan tayyorlangan disklar



setkali nasadka



simdan tayyorlangan nasadka



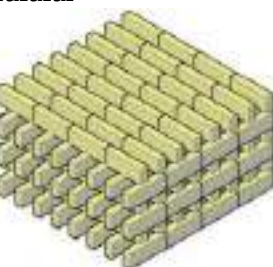
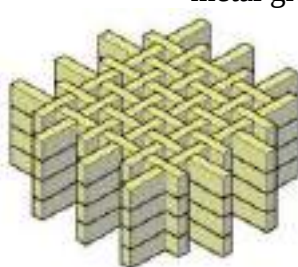
Roshig halqasi



metal granularlar

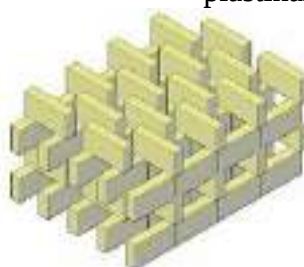


plastinali nasadka



a)

b)



v)



g)

**9.2-rasm. Nasadka turlari:** a-Kauper nasadkasi; b-Simens nasadka; v-Lixta nasadka; formal nasadka.

Alyuminli gofrlangan lentadan tayyorlangan diskalar, bunda gofrlar biridan boshqasiga burchak ostida yo'naltiriladi va issiqlik almashinuv jarayonini jadallashtiruvchi g'adir-budir kanallar hosil qilinadi. Bunday turdagi nasadkalarining kamchiligi-gidravlik qarshilikni yuqoriligidir.

Gidravlik qarshilikni kamaytirish uchun setkali yoki simdan tayyorlangan nasadkalar va granula shaklidagi nasadkalar qo'llaniladi. Granularlar metaldan tayyorlanadi, masalan qo'rg'oshin, u taxminan 100-250 *mkm* xarakterli o'lchamga ega bo'lib, qattiq fazada joylashgan va inert gazlar bilan to'ldirilgan g'ovakning diametri 1-10 *mkm* ni tashkil etadi. G'ovakli metallar issiqlik sig'imli gazlar (geliy yoki neon) asosida to'ldirilganda, nasadkaning yuqori issiqlik jamlash qobiliyati ta'minlanadi, bu esa past haroratli sovitish qurilmalarining (20K va undan past) samarali ishlashiga olib keladi.

Yuqori haroratlarda nasadka sifatida issiqbardosh g'ishtlar qo'llaniladi. G'ishtlarning qalinligi 40-50 *mm* ni tashkil etadi, ular gazsimon oqimlarning turbulizatsiya qilishga olib keladi va issiqlik almashinuvini juda yaxshi jadallashtiradi.

Qo'zg'almas, mavhum qaynash ("qaynovchi") yoki uzatuvchi qatlamli qurilmalar uchun nasadkalar Roshig halqasidan tayyorlanadi. Bunday nasadkalarining materiallari yuqori solishtirma issiqlik sig'imiga, issiqlik va kimyoviylikka bardoshli bo'lishi, haroratlar birdan o'zgarganda parchalanmasligi, bug'lanmasligi, yemirilmassligi va zarba yuklamasiga bardoshli bo'lishi kerak.

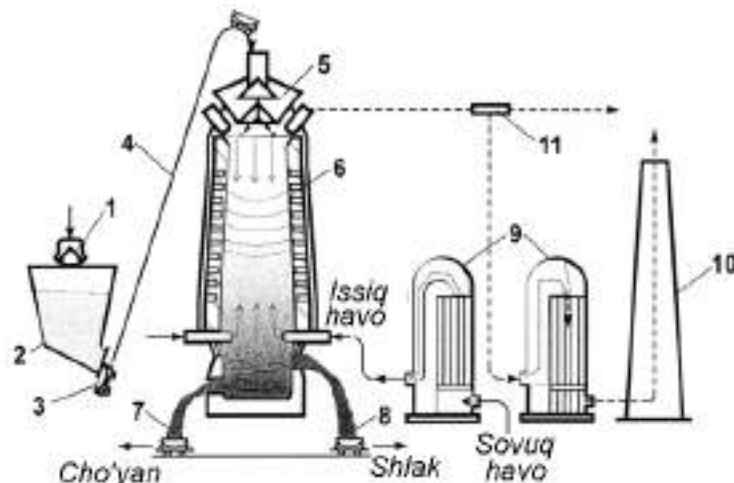
"Yungstrem" tizimidagi havo qizdirgichlarda plastinali nasadkalar keng qo'llaniladi. U yarim doira shaklida ikki tomonlama qabariqli plastinalar o'ramidan tashkil topgan bo'lib, nisbati bo'yicha qo'shni plastinalarga shaxmat tartibida joylashgan.

### 9.3. Domna pechining regeneratlari.

Texnikada qo'llaniladigan regeneratlarning konstruksiyalarini yuqori, o'rta va juda past haroratlarda ishlovchi qurilmalarga ajratish mumkin. Metalurgiya va shisha eritish sanoatlarida issiqbardosh g'ishtdan yasalgan qo'zg'almas nasadkali regeneratlari domna pechlarining havo qizdirgichlari sifatida qo'llaniladi. Bunday regenerative havo qizdirgichlarning balandligi 50 *m*, diametri 11 *m* gacha yetadi va ular 500000 *m*<sup>3</sup>/soat havoni 1300°C gacha qizdirib beradi. 9.3-rasmda

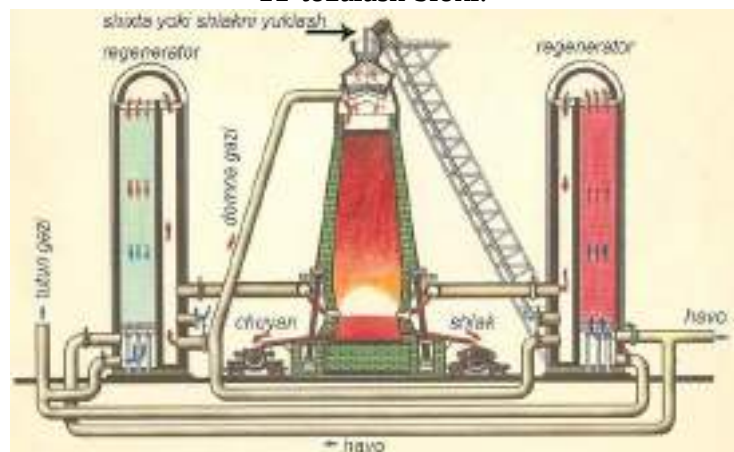
g'ishtli nasadkali domna pechining havo qizdirgichi tasvirlangan. 9.4-rasmda domna pechining texnologik sxemasi keltirilgan.

Yonish kamerasida issiq gazlar yonadi. Yonish mahsulotlari havo qizdirgichga yuqoridan keltiriladi va pastga qarab harakatlanib nasadkani qizdiradi, buning natijasida yonish mahsulotlari soviydi va pastgi qismdan chiqib ketadi (9.3-rasm chap tomon regenerator). Shiber almashlab ulangandan so'ng havo teskari yo'nalishda pastdan yuqoriga nasadka orqali harakatlanadi va havo qiziydi (9.3-rasm o'ng tomon regenerator). Havo pechga uzatilishdan oldin yonish mahsulotlarining issiqligi yordamida qizdiriladi.



**9.3-rasm. Domna pechining ishlash sxemasi:**

1-dozalagich; 2-sarfllovchi bunker; 3-vagonetka; 4-qiya ko'targich; 5-zichlovchi moslama; 6-pech; 7-choyanni qabul qilish sig'imi; 8-shlak uchun sig'im; 9-havo qizdirgichlar; 10-tutun quvuri; 11-tozalash bloki.



**9.4-rasm. Domna pechining texnologik sxemasi.**

Yuqori haroratda ishlovchi issiqlik almashinuv qurilmalari odatda issiqbardosh g'ishtdan tayyorlanadi. Qo'zg'almas g'ishtli nasadkali regeneratorlarning kamchiliklari qo'polligi, regeneratorlarni davriy tarzda almashlab ulash zaruriyati bilan bog'liq holda ishlatishda qiyinlik, pechning ishchi muhitida haroratning tebranishi, shiberni almashlab ulash vaqtida issiqlik tashuvchilarning aralashib ketishi va hok.

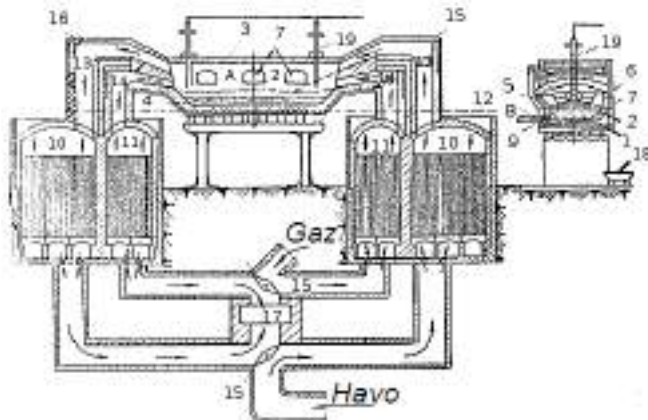
#### **9.4. Marten pechining regeneratorlari.**

Pechda yuqori haroratlarni olish uchun havo va gaz  $1100\div1300^{\circ}\text{C}$  haroratgacha qizdirib kiritiladi. Havo va gazni qizdirish uchun marten pechining qaynoq gazlaridan foydalaniladi. Hozirgi amaliyotda pechni jadal qizdirish uchun kislorod bilan to'yingan havodan foydalaniladi.

9.5 va 9.6-rasmlarda marten pechining prinsipial sxemasi va ishlash prinsipi ko'rsatilgan. Pechning eritish zonasi yuqori harorat va metall va suyuq shlakni o'zaro kimyoviy ta'siri ostida bo'ladi. Aynan yuqori haroratli havo yetkazib berishda regeneratorlardan foydalaniladi.

Regeneratorning kamerasi olovbardosh g'ishtdan tayyorlangan va nasadka bilan to'ldirilgan bo'lib, nasadka g'ishtli panjara ustida joylashadi. Marten pechlarida bir va ikki aylanishli regeneratorlar

qo'llaniladi. Ikki aylanishli regeneratorlar hozirgi vaqtda sig'imi 500 va undan katta bo'lgan yirik pechlarda qo'llaniladi. Bunday regeneratorlar bir aylanishli regeneratorlarga qaraganda nasadka hajmini 1,5 martagacha ortishini va havoni qizdirish haroratini 30-40°C ga ortishini ta'minlaydi.



**9.5-rasm. Marten pechning prinsipial sxemasi:**

1-erigan metal; 2-erigan shlak; 3-gumbaz; 4-tag; 5-orqa devor; 6-old devor; 7-yuklash oynasi; 8-metal va shlakni chiqarish; 9-olovbardosh material; 10-havoli regenerator; 11-gazli regenerator; 12-maydonning ishchi sathi; 13-havoni uzatish va yonish mahsulotlarini chiqarish uchun kanal; 14-gazni kiritish va yonish mahsulotlarini chiqarish uchun kanal; 15-almashlab ulash klapanlari; 16-bosh; 17-tutun gazi kanali; 18-shlak uchun arava; 19-suvli sovitish kanali.

Regeneratorlar pech ostida joylashadi. Regeneratorlar pechning ikki tomoniga juft holatda o'rnatiladi. Bunda regeneratorlar 10 havoni qizdiradi, regeneratorlar 11 gazni qizdiradi. Agar pech suyuq yoqilg'ida yoki yuqori kaloriyalı tabiiy yoki koks gazida ishlasa, u holda regeneratorlar faqat havoni qizdiradi.



**9.6-rasm. Marten pechning prinsipial sxemasi.**

Pech metal armaturasining ayrim qismlarini saqlash uchun suvli sovitish amalga oshiriladi. Marten pechi quyidagi tartibda ishlaydi. Regeneratorlarning o'ng jufti orqali gaz va havo uzatiladi, ular 10 va 11 regeneratorlardan o'tib, 1100°C gacha qiziydi. Qizigan gaz va havo pechning bosh qismida aralashadi va yonadi. Hosil bo'lgan yonish mahsulotlari metal vannaning yuzasiga yo'naladi va ishchi zonadan 13 va 14 kanallar orqali regeneratorlarning chap juftlaridan o'tib chiqib ketadi. Regeneratorning yuqori qismida chiqib ketuvchi gazlarning harorati 1600°C, gazli regeneratoridan ular 600°C da chiqarib yuboriladi.

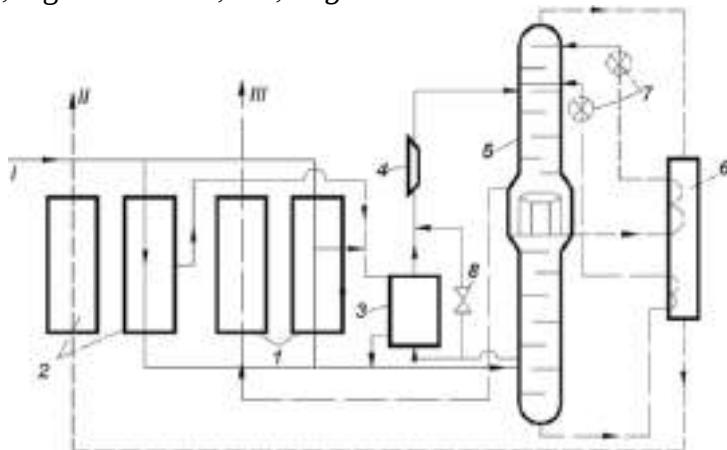
Chiqib ketuvchi gazlar, uzatilayotgan havo va gazlarning yo'nalishi maxsus klapanlar yordamida rostlanadi. Marten pechining issiqlik rejimini rostlash avtomatik tarzda amalga oshiriladi. Hozirgi kunda barcha marten pechlarining 90% i avtomatlashtirilgan.

#### **9.5. Havo ajratish qurilmasining regeneratorlari.**

Havo ajratish qurilmalarining regeneratorlari gazning ikki va uch oqimi o'rtasida issiqlik almashinuvi uchun mo'ljallangan. Havo ajratish qurilmalarida ham regeneratorlar issiqlik almashinuvi qurilmasining vazifasini bajaradi, ya'ni ajratish qurilmasiga kirib kelayotgan havoning issiqligi uning

ajralgan mahsulotlariga uzatiladi. Shu bilan birga regeneratrlar havoning tarkibidan namlik va uglerod ikki oksidini tozalash vazifasini ham bajaradi.

Odatda nasadka sifatida yupqa gofrlangan alyuminiy lentadan tayyorlangan disklardan foydalaniladi. Lentaning gofrlari qarama-qarshi tomonga yo'nalgan, buning natijasida disklarda ko'p sonli uzlukli kanallar hosil bo'lib, issiqlik almashinuvini jadallashtiradi. Metal nasadkani g'ishtli nasadka bilan taqqoslagandagi afzalligi – hajm birligida issiqlik almashinuv yuzasining kattaligidir. Masalan,  $1\text{ m}^3$  hajmda issiqlik almashinuv yuzasi  $2000\text{ m}^2$  bo'lgan alyuminiy lentani joylashtirish mumkin. Yuzasi  $1\text{ m}^2$  bo'lgan rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmasining massasi  $15\text{ kg}$  ni tashkil etsa, regeneratorda  $0,5\div0,6\text{ kg}$  ni tashkil etadi.



**9.7-rasm. Gazsimon kislorodni ajratib olishning prinsipial sxemasi:**

I – havoni uzatish; II – azotni chiqishi; III – kislorodni chiqishi; 1 – kislorodli regeneratrlar; 2 – azotli regeneratrlar; 3 -  $\text{CO}_2$ ni muzlatgich; 4 – turbodetander; 5 – rektifikatsion kolonna; 6 – suyuqlik va azotli flegmani qayta sovitgich; 7 – drossel ventily; 8 – zadviyka.

Gazsimon texnik kislorodni ishlab chiqarish uchun havo  $0,5\div0,6\text{ MPa}$  bosimda sovitiladi (9.7-rasm). Qisman sovitilgan  $0,5\div0,6\text{ MPa}$  bosimli havo past bosimli qurilmadan so'ng ajratish uchun kislorodli 7 va azotli regeneratrlarga kiritiladi, u yerda chiqib ketuvchi kislorod va azot bilan qo'shimcha sovitiladi. Keyin havoning asosiy qismi (80%) rektifikatsion kolonnaning 5 pastki qismiga kiritiladi, qolgan 20% qismi sovuqlik olish uchun turbodetanderga 4 kiritiladi, u yerda soviydi va rektifikatsion kolonnaning yuqori qismiga kiritiladi. Gazsimon kislorod va azot kolonnadan regeneratrlarga yuboriladi, kislorod gazgoldega keyin iste'molchiga yuboriladi, azot esa atmosferaga chiqarib yuboriladi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Regenerativ issiqlik almashinuv qurilmalarini ishlash prinsipini tushuntiring?
2. Regenerativ qurilmalar qanday rejimlarda ishlaydi?
3. Regenerativ qurilmalarni qo'llanilish sohalarnii ayting?
4. Regenerativ qurilmalarga misol keltiring?
5. Regeneratorda asosiy ishchi jism nima?
6. Regeneratrlar rekuperatrlardan qanday farq qiladi?
7. Regeneratrlarni issiqlik hisobini tushuntiring?

## **10-MA'RUZA**

## **QO'ZG'ALUVCHAN NASADKALI REGENERATORLAR.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### **Ma'ruza rejasi:**

- 10.1. Qatlamda issiqlik almashinuv xususiyatlari.
- 10.2. Qaynov qatlamining hosil bo'lish prinsiplari.
- 10.3. Nasadkalari o'rin almashinuvchi regeneratrlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>10.4.</b> Aylanuvchi regeneratrlar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                |
| <b>10.5.</b> Regeneratrlarning issiqlik hisobi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Qo'zg'aluvchan nasadkali regeneratrlar to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b><br>- qatlamda issiqlik almashinuv xususiyatlari to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- qaynov qatlamining hosil bo'lish prinsiplari to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- nasadkalari o'rin almashinuvchi regeneratrlar to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- aylanuvchi regeneratrlar to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- regeneratrlarning issiqlik hisobi to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                                                |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                |
| <b>Tayanch iboralar:</b> qatlam, qaynov qatlam, porshenli qaynash, mavhum qaynash, nasadka, donador zarra, fontanli qaynash.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                |

### 10.1. Qatlamda issiqlik almashinuv xususiyatlari.

Material qatlamida issiqlik almashinuv metalurgiya, energetika, kimyo va sanoatning boshqa sohalarining qurilmalarida sodir bo'ladi. Qatlamlar zarrachaning xususiyatiga bog'liq holda *zich* va *qaynov* (aralashmagan) qatlamlarga bo'linadi. Zich qatlamda zarrachalarni gazlar yuvib o'tganda issiqlik ular orasida saqlanadi. Qatlamning holatini aniqlovchi parametrlar bu *teshiklilik*  $\varepsilon$  hisoblanadi, u zarrachalar orasidagi bo'shliq hajmini qatlamning butun hajmiga nisbatini ifodalaydi. Zich qatlam uchun  $\varepsilon = 0,35 - 0,55$ . Qaynov qatlamida zarrachalar kamerada tartibsiz almashinadi, ammo undan yuvib turuvchi gaz oqimi bilan chiqib keta olmaydi. Qaynov qatlami uchun teshiklilik 0,6 dan oshadi.

Zich qatlamda uchta asosiy xususiyat bilan tavsiflanuvchi murakkab issiqlik almashinuv sodir bo'ladi: 1) nasadka yuzasidagi harorat nafaqat gazdan nasadkaga issiqlik berish orqali (tashqi issiqlik almashinuv), balki uning ichki issiqlik uzatishidan (ichki issiqlik almashinuv) aniqlanadi; 2) nasadkaning bitta elementidan boshqasiga tashqi issiqlik almashinuv issiqlik o'tkazuvchanlik, nurlanish va konveksiya orqali amalga oshiriladi; 3) ichki issiqlik uzatish nasadka elementlarining o'lchami va shaklidan, ularning issiqlik o'tkazuvchanligidan, yuzadagi issiqlik almashinuvidan aniqlanadi.

Keltirilgan xususiyatlarning hammasi ham qatlamda issiqlik almashinuviga birdek ta'sir etmaydi. Shuningdek, to'g'ri sferik yuzali nasadkalar uchun nasadka elementlari orasidagi issiqlik o'tkazuvchanlik hisobga olinmasa ham bo'ladi, chunki ular nuqtaviy to'qnashganda amalda ular orasida issiqlik almashinmaydi. Bunday qatlam ideal hisoblanadi. Real qatlamda nasadka elementlari yuza bo'yicha to'qnashadi va ular orasida issiqlik almashinuv issiqlik o'tkazuvchanlik bilan sodir bo'ladi. Bunday hodisaning miqdoriy tavsifi tajriba yo'li bilan aniqlanishi mumkin.

Zich qatlamda bir elementdan boshqasiga tashqi issiqlik almashinuv nurlanish yoki konveksiya bilan sodir bo'ladi. Qatlamni qizdirishda gaz nurlanishining o'rni kichik, sababi, elementlar orasidagi kanal o'lchamlari kichikligi va nurlanuvchi gazlarning konsentratsiyasi pastligidir. Tajriba va hisoblash ma'lumotlari shuni ko'rsatdiki, elementdan elementga nurlanish 500°C dan yuqori haroratlarda hisobga olinadi. Past haroratlarda qatlamda issiqlik almashinuv asosan konveksiyadan aniqlanadi va buni jadallashtirish uchun qatlam balandligi bo'yicha kanallarning shakli va o'lchami uzluksiz o'zgarishi hisobiga nasadkada gaz oqimi kuchli turbulizatsiya qilinadi.

Ko'rsatilgan xususiyatlar qaynov qatlami uchun ham taalluqlidir, faqatgina alohida turdagi issiqlik uzatishning solishtirma qiymati ishchi haroratlar darajasiga va jarayonning boshqa parametrlariga bog'liq holda bir necha marotaba o'zgarishi mumkin.

Qatlamda issiqlik almashinuvini kuzatish uchun ba'zan zarracha cheklashlardan chiqib ketadi, ya'ni bir qator holatlarda tajriba bilan mos keladi: 1) zarracha qatlami o'zining fraksion tarkibi bo'yicha bir jinsli bo'lganda; 2) qatlamning har qanday nuqtasida gazdan zarrachaga berilgan issiqlik oqimi gaz va zarracha yuzasi orasidagi haroratlar farqiga proporsional va Nyuton qonuni bilan aniqlanadi; 3) gazdan zarrachaga issiqlik berish koeffitsiyenti nafaqat zarracha yuzasining barcha nuqtalari uchun,

balki qatlamning butun kesimi va yuzasi bo'yicha bir xildir; 4) qatlam zarrachalarining va gazning issiqlik-fizik xususiyatlari haroratga bog'liq emas va ularning o'rtachalari qabul qilinadi; 5) gazda va qatlamda zarrachadan zarrachaga issiqlik uzatish issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan amalga oshirilmaydi; 6) gaz va qatlam hajmining haroratga bog'liq holda o'zgarishi kamligi uchun ular hisobga olinmasa ham bo'ladi; 7) gaz oqimi qatlamning ko'ndalang kesimi bo'yicha bir xil taqsimlangan va uning sarfi vaqt bo'yicha o'zgarmas.

Bunday cheklashlar qatlamda issiqlik almashinuvini oddiy analitik bog'liqlar orqali ifodalash imkonini beradi.

Issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan zich qatlamlar uchun eng ko'p tarqalgan formula – V.N. Timofeyev formulasidir:

$$Re < 200 \text{ bo'lganda } Nu_{qat} = 0,106 Re_{qat} \quad (10.1)$$

$$Re > 200 \text{ bo'lganda } Nu_{qat} = 0,61 Re_{qat}^{0,47} \quad (10.2)$$

Qatlam uchun Nusselt va Reynolds sonlarini hisoblashning xususiyati shundaki, chiziqli o'lcham sifatida zarrachaning diametridan foydalaniladi, gazning tezligi esa qatlamning bo'sh kesimida aniqlanadi. Shunday qilib,

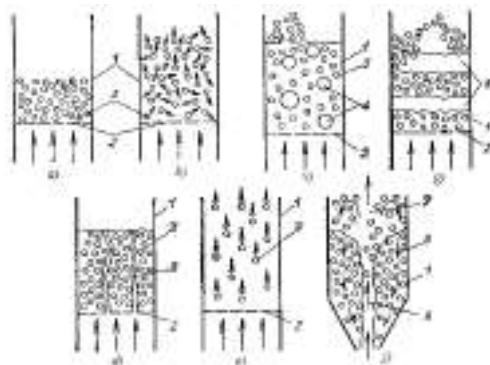
$$Nu_{qat} = \frac{\alpha_g d}{\lambda_g}; \quad Re_{qat} = \frac{w_g d}{\nu_g}$$

Gazning issiqlik sig'imi  $\lambda_g$  va kinematik qovushqoqligi  $\nu_g$  o'rtacha harorat bo'yicha hisoblanadi.

### 10.2. Qaynov qatlamining hosil bo'lish prinsiplari.

Qattiq donador materialli suyuqliklar va gazlarning o'zaro harakat jarayonlari istiqbolli va keng tarqalgan, ularda zarrachalarning oqimlari aralashishi bilan energiya almashinuvi hisobiga, biridan boshqasiga nisbatan qo'zg'aluvchan bo'lib qoladi. Donador materialning bunday holati “*mavhum qaynash*” yoki oddiy suyuqlik tomchilarni tashqi o'xshashligi hisobiga *qaynov qatlam* deb nomlanadi. Qaynov qatlamida suyuqliklarning quyidagi xususiyatlari muhimdir: oquvchanlik, qovushqoqlik, sirtiy taranglik. Qattiq materiallarni mavhum qaynashi amalga oshiriladigan jarayonlar sanoatning turli sohalarida qo'llaniladi. Ularga masalan, kimyoviy jarayonlar: neftdan yengil yonilg'i mahsulotini olish, yoqilg'ilarni gazlashtirish, turli xil rudalarni toblash; fizik va kimyoviy jarayonlar; mayda donador, mumsimon va suyuq materiallarni quritish, metalarga termik ishlov berish, gazlarni qizdirish va sovitish; mexanik jarayonlar: donador materiallarni boyitish, donadorlash, donador materiallarni aralashtirish va transport qilish va hokazo.

Qaynov qatlamining hosil bo'lish prinsipi quyidagicha. Agar ushlab turuvchi panjarada joylashgan donador material qatlamining ostidan issiqlik tashuvchilar (gaz yoki suyuqlik) oqimi yuborilsa, qatlamning holati oqim tezligiga bog'liq holda turlicha bo'lib qoladi. Tezlik bir tekisda noldan bir qancha birinchi kritik qiymat  $w'_0$  gacha ortganda *oddiy filtrlash* jarayoni sodir bo'ladi, bunda qattiq zarrachalar qo'zg'almaydi (10.1-rasm, a) va qatlamning teshikliliigi  $\varepsilon$  o'zgarmaydi, uning gidrodinamik qarshiligi  $\Delta p$  esa tezlik  $w$  ortishi bilan ortadi.



**10.1-rasm. Donador materiallar qatlami orqali gaz (suyuqlik) oqimi harakatlanganda qatlamning turli xil holatlari:**

a-qo'zg'almas qatlam; b- $w \geq w'_0$  bo'lganda qaynov qatlami; v-gaz pufakchalari bilan (barbotaj qatlamidan gaz pufakchalarii bosim bilan o'tkazish) aralashtirilgan qatlam; g-porshensimon qatlam; d-ikki tomoni ochiq (skvoznoy) teshikli qatlam; e- $w > w''_0$  bo'lganda qattiq zarrachalarning uchib chiqishi; j-favvora hosil qiluvchi qatlam; 1-qurilma korpusi; 2-tayanchli-taqsimlovchi panjara; 3-qattiq zarrachalar; 4-gazli pufakchalar; 5-gazli “tiqin”; 6-teshik kanallar; 7-favvora; 8-qatlam uqiy yadrosi; 9-qattiq zarrachaning ko'chish qatlami.

Tezlik  $w'_0$  ga yetganda donador qatlamning gidrodinamik qarshiligi uning og'irligiga teng bo'lib qoladi va qatlam muallaq holga keladi, zarrachalarning to'qnashuvi buziladi va ular ko'chish va aralashib ketish imkoniyatiga ega bo'ladi; qatlam kengayadi va ularda gaz pufaklarining sakrashi kuzatiladi. Oqimning tezligi bir qancha  $w''_0$  qiymatiga ortganda qatlam kamayishda davom etadi va zarrachalar harakatining jadalligi oshadi.  $w > w''_0$  bo'lganda qattiq zarrachalar qatlamni tark eta boshlaydi. Tezlik  $w'_0$ -mavhum qaynash boshlanishining tezligi, tezlik  $w''_0$ -uchib chiqishning boshlanish tezligi deb ataladi.

Qatlam mavhum qaynashdan o'tgandan so'ng bir qancha kengayadi, u bir jinsli, uning yuqori sathi esa erkin yuza, u amalda qo'zg'almaydi va zarrachalarning aralashishi yomonlashadi (10.1-rasm, b). Gazning tezligi ortishi bilan qatlam kengayadi, uning hajmida esa gaz pufakchalari paydo bo'la boshlaydi (bir jinslilik buziladi), zarrachalarning aralashish jadalligi ortadi va qatlam erkin yuzasining tebranishi vujudga keladi (10.1-rasm, v). Pufakchalar qatlamdan chiqishda yuzani yorib o'tadi, bu uni tebranishiga olib keladi va qattiq zarrachalarning otilishi sodir bo'ladi. Tor va baland qatlamlarda ko'tariluvchi pufakchalar qo'shilishi va butun ko'ndalang kesimni band qilishi mumkin. Qattiq zarrachalarning navbat bilan "porshenli" harakatlanishi yuqorida aralashib ketuvchi gazli "tiqin" larni hosil qiladi (10.1-rasm, g). Bunday porshensimon mavhum qaynash qatlamida qattiq zarrachalarning vertikal yo'nalishda almashinuvi qiyinlashadi.

Birikishga moyil qattiq zarrachali qatlamda gazning tezligi  $w'_0$  ga nisbatan bir oz oshsa, teshik kanallar hosil bo'ladi (10.1-rasm, d), u orqali gaz qattiq zarrachalar bilan yetarlicha to'qnashmasdan o'tib ketadi. Gazning tezligi ortganda bu kanallar ba'zan to'liq yo'qolib ketadi, ba'zan qisman qatlam asosida saqlanadi. Yuqori bosimlarda, ya'ni gaz va qattiq zarrachaning zichligi tenglashganda qatlam bir jinslilikka yaqinlashadi.

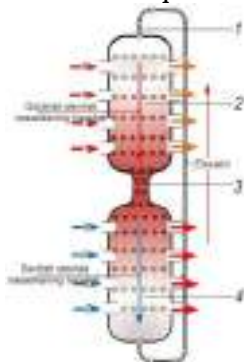
$w \geq w''_0$  bo'lganda qattiq zarrachalar qatlamni tark eta boshlaydi (10.1-rasm, e) va ularning qurilmadagi miqdori kamayadi. Bunday qatlamning teshikliligi birga yaqinlashadi, qatlamning qarshiligi esa keskin kamayadi.

Donador materiallar cho'qqi burchagi  $15-20^\circ$  dan yuqori konussimon va konussimon-silindrik qurilmalarda mavhuv qaynaganda qatlam hosil bo'lishi mumkin (10.1-rasm, j). Bu yerda gaz asosan qatlamning markaziy qismidan o'tib qattiq zarrachalarni o'ziga ergashtiradi va favvora ularni markazdan chetga irg'itadi, u yerda ular yon yuza bo'ylab pastga ko'chadi.

### 10.3. Nasadkalari o'rin almashinuvchi regeneratorlar.

O'rin almashinuvchi donador nasadkali regeneratorlar energetika, neft kimyosi, neftni qayta ishlash va sanoatning boshqa sohalarida keng qo'llaniladi. Harakatlanuvchi nasadkalar (oraliq issiqlik tashuvchi) sifatida diametri 5-12 mm bo'lgan qattiq zarrachalar va sharchalardan foydalaniladi. Ular kvars, kaolin, mullit, alyuminiy oksidi va hokazolardan tayyorlanadi. Donador materiallar juda katta solishtirma yuzaga ega bo'lib, zarrachaning diametriga bog'liq holda  $500 \div 10000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ga yetadi. Buning natijasida nisbatan kichik qurilmalarda ham katta issiqlik almashinuv yuzasi hosil qilinadi.

Shunday qurilmalardan birining xarakterli sxemasini ko'rib chiqamiz. 10.2-rasmda havoni  $1000^\circ\text{C}$  va undan yuqori haroratgacha qizdirishga loyihalangan havo qizdirgich tasvirlangan. U ikkita kameradan iborat bo'lib, bir-biring ustiga joylashgan va ularga donador material (odatda diametri  $5 \div 7$  mm bo'lgan shar yoki bo'lakchalar) yuklangan. Oraliq issiqlik tashuvchining qatlami yuqori kamerada qaynoq gazlar bilan, pastki kamerada havo bilan yuviladi. Qizigan donador material maxsus moslama orqali yuqori kameradan pastki kameraga kiritiladi, u yerda sovitiladi va maxsus ko'targich orqali yuqori kameraga kiritiladi. Gaz va material harakati teskari oqimli.



10.2-rasm. Nasadkalari o'rin almashinuvchi regenerator:

1-yuqori bunker; 2-yuqori kamera; 3-zichlovchi qatlam; 4-pastki kamera.

Donador nasadkaning qizdirish yuzasi va uning hajmi  $V_n$  orasidagi bog'liqlikni quyidagicha ifodalaymiz:

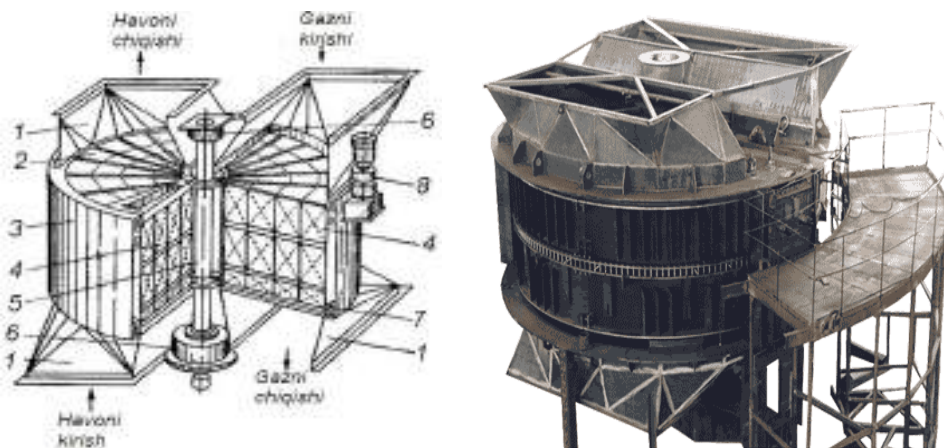
$$F = \pi d_e^2 n = \frac{6M_n}{d_e \rho} = \frac{6}{d_e} V_n (1 - \varepsilon) \quad (10.3)$$

bu yerda  $n$  – shariklar soni;  $d_e$  – zarrachaning ekvivalent diametri;  $M_n$  – nasadka massasi;  $\rho$  – zarracha zichligi;  $\varepsilon$  – qatlam teshikligi, ideal shariklar uchun  $\varepsilon = 0,5$ .

Nasadkalari o'rin almashinuvchi regenerativ havo qizdirgichlarda issiqlik almashinuvi jadallashgan va havoni yuqori haroratgacha ( $800^\circ\text{C}$  va undan yuqori) qizdirish mumkin.

#### 10.4. Aylanuvchi regeneratrlar.

Aylanuvchi regenerativ havo qizdirgichlar (RHQ) energetikada keng qo'llaniladi. Ular yuqori quvvatli qozon qurilmalarida o'rnatiladi. Birinchi aylanuvchi havo qizdirgichlar 1923 yilda aka-uka Yungstremlar tomonidan Shvetsiyada o'rnatilgan. Shuningdek bunday turdagi havo qizdirgichlar yuqori quvvatli gaz turbina qurilmalari uchun ishlab chiqariladi. RHQning asosiy elementi (10.3-rasm) baraban-rotor hisoblanadi. U qalinligi  $0,5 \div 1,5$  mm bo'lgan teshikchali metal listlar bilan to'ldirilgan. Listlar orasida yo'llar hosil qilingan, ular orqali rotor o'qiga parallel ravishda qaynoq gaz yoki havo o'tkaziladi. Rotor yassi radial to'siq yordamida ikkita sektorga ajratilgan, to'siq yordamida gaz oqimi havo oqimidan ajratiladi. Qurilmaning aylanuvchi nasadkasi navbati bilan qaynoq gazlar kanali bilan kesishadi va qiziydi, keyin issiqlikni qizdiruvchi gazga nisbatan teskari harakatlanuvchi havoga uzatadi.



10.3-rasm. Aylanuvchi regenerativ havo qizdirgich:

1-quti; 2-baraban; 3-korpus; 4-nasadka; 5-val; 6-podshipnik; 7-zichlagich; 8-elekt yuritma.

Bir qancha yoqilg'ilar uchun havo kirish tomonidagi nasadkaning harorati tutun gazlarining to'yinish nuqtasidagi harorattan past bo'lishi mumkin, bu esa yuzaning ushbu qismida ("sovuq" qism) jadal korroziyani yuzaga keltiradi. "Sovuq" qismni xizmat ko'rsatish muddatini uzaytirish uchun nasadkalar "qaynoq" qismdagi listlardan ( $1 \div 1,5$  mm) ancha yupqa  $0,5 \div 0,8$  mm listlardan yig'iladi. Shuni ham ta'kidlash joizki, rotorning yuqori va pastki qismlari orasidagi haroratlar farqi  $300^\circ\text{C}$  gacha yetadi. Hajmi  $1 \text{ m}^3$  bo'lgan nasadkaning qizdirish yuzasi  $200 \div 250 \text{ m}^2$ , rotorning diametri  $7 \text{ m}$ , rotorning aylanish chastotasi  $1,5 \div 10$  ayl/daq. Elektr yuritmaning quvvati  $10 \text{ kVt}$  dan oshmaydi.

#### 10.5. Regeneratlarning issiqlik hisobi.

Nasadkani qizdirish davrida tutun gazlaridan nasadkaga uzatilgan issiqlik miqdori:

$$Q_q = k_q (\bar{t}_q - \bar{t}_{n,q}) F \tau_q \quad (10.4)$$

bu yerda  $\bar{t}_q$  va  $\bar{t}_{n,q}$  – kamera va vaqt bo'yicha qaynoq issiqlik tashuvchi va nasadkaning o'rtacha harorati;  $F$  – nasadka yuzasining maydoni;  $k_q$  – qizdirish davrida o'rtacha issiqlik uzatish koeffitsienti, u quyidagiga teng:

$$\frac{1}{k_q} = \frac{1}{\alpha_q} + \frac{r}{\lambda} \quad (10.5)$$

bu yerda  $\alpha_q$  – nurlanish va konveksiya orqali issiqlik berish koeffitsiyenti. Birinchi qo'shiluvchi g'ishtning tashqi issiqlik qarshiligini, ikkinchisi esa – ichki issiqlik qarshiligini tavsiflaydi.

Shunday qilib:

$$Q_q = \frac{(\bar{t}_q - \bar{t}_{n,q})F\tau_q}{\frac{1}{\alpha_q} + \frac{r}{\lambda}} \quad (10.6)$$

Sovitish jarayoni uchun o'xshash holda:

$$Q_s = \frac{(\bar{t}_{n,s} - \bar{t}_s)F\tau_s}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{r}{\lambda}} \quad (10.7)$$

bu yerda  $\bar{t}_{n,s}$  – sovitish jarayonida nasadkaning o'rtacha harorati.

Regeneratorning ishlash prinsipidan ma'lumki  $Q_q = Q_s = Q_{uza}$ .

Agar birinchi taxminda, ya'ni qizdirish va sovitish davrida  $\bar{t}_{n,q} = \bar{t}_{n,s}$  qabul qilinsa, u holda o'zgartishlardan so'ng uzatilayotgan issiqlikni hisoblash uchun formulaga ega bo'lish mumkin:

$$Q_{uza} = \frac{(\bar{t}_q - \bar{t}_s)F}{\left[ \frac{1}{\alpha_q \tau_q} + \frac{r}{\lambda} \left( \frac{1}{\tau_q} + \frac{1}{\tau_s} \right) + \frac{1}{\alpha_s \tau_s} \right]} \quad (10.8)$$

Bu ifodani issiqlik uzatishning umumiy tenglamasiga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Q_{uza} = (\bar{t}_q - \bar{t}_s)Fk_{sikl} \quad (10.9)$$

sikl uchun issiqlik uzatish koeffitsiyenti (10.8) tenglama o'ng tomonidagi maxrajda turuvchi munosabatdan aniqlanadi. Eritish va qizdirish pechlari uchun  $\tau_q = \tau_s = 0,5\tau_{sikl}$ , u holda

$$k_{sikl} = \frac{1}{\alpha_q \tau_q} + \frac{4r}{\lambda \tau_{sikl}} + \frac{1}{\alpha_s \tau_s} \quad (10.10)$$

$\frac{4r}{\lambda \tau_{sikl}}$  qo'shimcha, g'ishtni o'zgarmas issiqlik oqimida qizdirish va sovitish sharoriti uchun jamlashning issiqlik qarshilini tavsiflaydi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Qaynov qatlami qanday hosil bo'ladi?
2. Qatlamlar tuzilishi bo'yicha necha turga bo'linadi?
3. Qatlamlarning asosiy xususiyatini nima ifodalaydi?
4. Qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas qatlamni tushuntiring?
5. Bunday qurilmalar qanday soxalarda ishlatiladi?
6. Ushbu qurilmalarni qo'llashdan maqsad nima?

## **11-MA'RUZA**

## **BUG'LATISH JARAYONLARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

|                                                                                 |                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejas:</b>                                                           |                                                                |
| 11.1. Bug'latishning nazariy asoslari.                                          |                                                                |
| 11.2. Bir korpusli bug'latish qurilmalari.                                      |                                                                |
| 11.3. Moddiy balans.                                                            |                                                                |
| 11.4. Issiqlik balansi.                                                         |                                                                |
| 11.5. Qizdirish yuzasi va harorat yo'qotilishlari.                              |                                                                |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                  | Bug'latish jarayonlari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                   |                                                                |
| - bug'latishning nazariy asoslari to'g'risida tushunchalar beriladi;            |                                                                |
| - bir korpusli bug'latish qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;        |                                                                |
| - moddiy balans to'g'risida tushunchalar beriladi;                              |                                                                |
| - issiqlik balansi to'g'risida tushunchalar beriladi;                           |                                                                |
| - qizdirish yuzasi va harorat yo'qotilishlari to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                                |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                             |                                                                |
| <b>Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                       |                                                                |

**O'qituvchi imzosi:** \_\_\_\_\_

**Tayanch iboralar:** bug'latish, eritma, eruvchi, erituvchi, bug'latish qurilmasi, oddiy bug'latish, murakkab bug'latish, eritma konsentratsiyasi, istish kamerasi, bir pog'onali bug'latgich, ko'p pog'onali bug'latgich.

### **11.1. Bug'latishning nazariy asoslari.**

Uchuvchan bo'lmagan moddalar eritmalarini tarkibidagi erituvchini qaynatish paytida chiqarib yuborish yo'li bilan quyuqlantirish jarayoni *bug'latish* deb yuritiladi. Bug'lanish jarayoni qaynash haroratidan past haroratda suyuqlikning yuzasida ro'y bersa, bug'latish jarayonida esa bug' eritmaning butun hajmidan ajralib chiqadi.

Kimyo sanoatida ishqor, tuz va boshqa moddalarning suvli eritmaları, ayrim mineral va organik kislotalar, ko'p atomli spirtlar hamda shu kabi qator eritmalar bug'latiladi. Ba'zan bug'latish yordamida toza erituvchilar ham olinadi. Ayrim sharoitlarda quyuqlashtirilgan eritma kristallanish jarayonini amalga oshirish uchun maxsus bug'latish qurilmalariga yuboriladi.

Quyuqlashtirilgan eritmalar va bug'latish natijasida hosil bo'lgan qattiq moddalarni oson hamda arzon qayta ishlash, saqlash va boshqa joylarga jo'natish mumkin.

Bug'latish jarayonida issiq issiqlik tashuvchi sifatida asosan suv bug'i ishlatiladi, bunday bug' *birlamchi bug'* deb yuritiladi. Qaynayotgan eritmani bug'latish paytida hosil bo'lgan bug' *ikkilamchi bug'* deb ataladi. Eritmani bug'latish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori devor orqali beriladi.

Bug'latish jarayoni *vakuum ostida*, *atmosfera* va *yuqori bosimda* olib borilishi mumkin. Eritmalarning xossalari va ikkilamchi bug'ning issiqligidan foydalanish zaruratiga ko'ra har xil bosim ishlatiladi.

Vakuum ostida bug'latish qator afzalliklarga ega: jarayonni ancha past haroratda olib borish mumkin, bu yuqori haroratlarda parchalanib ketishi mumkin bo'lgan moddalar eritmalarini quyuqlashtirishda qo'l keladi. Bundan tashqari, vakuum ta'sirida issiqlik tashuvchi va eritma harorati o'rtasidagi foydali farq ko'payadi, bu esa qurilmaning isitish yuzsini kamayishiga olib keladi, vakuum bilan bug'latish uchun nisbatan past parametrlı (harorat va bosim) issiqlik tashuvchidan foydalanish mumkin. Vakuum ishlatilganda ikkilamchi bug'dan qaytadan birlamchi bug' sifatida foydalanish imkoni tug'iladi.

Vakuum ostida bug'latish kamchiliklardan holi emas: vakuumni ishlatish bug'latish qurilmasining narxini oshiradi; vakuum hosil qilish uchun kondensator, tomchi ushlagich va vakuum-nasoslar kerak bo'ladi, bundan tashqari, qurilmani ishlatish uchun zarur bo'lgan sarf ham ko'payadi.

Atmosfera bosimidan yuqori bo'lgan bosimda bug'latishda hosil bo'lgan ikkilamchi bug'dan qaytadan bug'latish jarayonida hamda bug'latish bilan bog'liq bo'lmagan boshqa maqsadlarda foydalanish mumkin. Boshqa maqsadlar uchun ajratilgan ikkilamchi bug' *ekstra-bug'* deb ataladi. Yuqori bosim bilan bug'latish jarayonida ekstra-bug'ni ajratib olib ishlatish vakuum yordamida bug'latishga nisbatan issiqlikdan to'laroq foydalanish imkonini beradi. Yuqori bosim bilan bug'latish eritmaning qaynash haroratini ortishiga olib keladi. Bundan tashqari, yuqori bosim bilan bug'latishni amalga oshirish uchun yuqori haroratli isituvchi agent kerak bo'ladi. Shu sababli bu usul yuqori haroratga chidamli moddalarning eritmalarini quyultirishda ishlatiladi.

Atmosfera bosimi bilan bug'latishda ikkilamchi bug' ishlatilmaydi, u atmosferaga chiqarib yuboriladi. Bunday usul eng oddiy, ammo iqtisodiy jihatdan eng tejamsiz hisoblanadi.

Bug'latish jarayoni kimyo va oziq-ovqat sanoatida keng ishlatiladi. Bu jarayondan eritmalarini quyultirish va eritmalaridan erigan holdagi moddalarni ajratib olishdan tashqari, toza erituvchilar olish, sovuqlik hosil qilish texnikasida foydalaniladi.

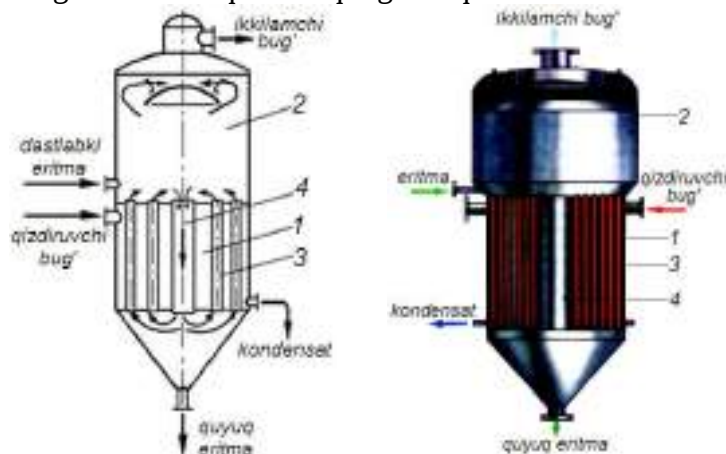
Sanoatda bug'latish jarayoni *bir* va *ko'p korpusli* qurilmalarda amalga oshiriladi. Asosan ko'p korpusli, ya'ni bir necha korpuslardan tashkil topgan bug'latish qurilmaları ishlatiladi. Ko'p korpusli qurilmalarning faqat birinchi moslamaiga birlamchi bug' beriladi, keyingi moslamalarni isitish uchun esa oldingi moslamalardan chiqqan ikkilamchi bug' ishlatiladi. Natijada isituvchi bug'ning umumiy sarfi kamayadi.

Ishlash rejimiga ko'ra bug'latish qurilmaları *davriy* va *uzluksiz* bo'ladi. Kichik ishlab chiqarishlarda va ayrim vaqtda, eritmalarini yuqori konsentratsiyalargacha bug'latishda davriy

ishlaydigan bug'latish qurilmalari ishlatiladi. Zamonaviy bug'latish qurilmalari ancha katta isitish yuzasiga ega, ba'zan bitta moslamaning isitish yuzasi  $2500 \text{ m}^2$  dan ortib ketadi.

### 11.2. Bir korpusli bug'latish qurilmalari.

Bir korpusli bug'latish qurilmasi faqat bitta bug'latish qurilmasidan iborat. Misol tariqasida eritmasi tabiiy sirkulyatsiyalanuvchi markaziy sirkulyatsion quvurli uzluksiz harakatli bir korpusli bug'latish qurilmasining prinsipial sxemasini ko'rib chiqamiz (11.1-rasm). Bug'latish qurilmasi ikki qismdan, ya'ni isituvchi kamera 1 va separator 2 dan iborat. Kamera 1 ko'pincha to'yingan suv bug'i bilan isitiladi. Suv bug'i kameraning quvurlararo bo'shlig'iga yo'naltiriladi, u yerda quvur devori orqali o'z issiqligini eritmaga uzatadi va sovish natijasida kondensatsiyalanadi. Hosil bo'lgan kondensat kameraning pastki qismidagi shtutser orqali tashqariga chiqariladi.



**11.1-rasm. Markaziy sirkulyatsion quvurli bug'latish qurilmasi:**

1-isituvchi kamera; 2-separator; 3-quvurlar; 4-sirkulyatsiya quvuri.

Quvurlarda isitilayotgan eritmaning harorati ortishi bilan zichligi kamayadi. Natijada, eritma quvur bo'ylab yuqoriga ko'tariladi va devor orqali o'tayotgan issiqlik ta'sirida qaynash boshlanadi. Qaynash jarayonida hosil bo'layotgan ikkilamchi bug' eritmadan ajraladi va separatorga 2 qarab harakatlanadi. U yerda bug' mayda eritma tomchilardan ajratiladi va bug' tashqariga chiqariladi. Separatorida ajratilgan tomchilar yana qaytadan bug'lanayotgan eritmaga qo'shiladi.

Eritmaning ma'lum qismi (zichligi yuqori) sirkulyatsiya quvuri orqali bug'latishning pastki qismiga tushadi. Ushbu quvurdagi eritma va isituvchi quvurlardagi "bug'-suyuqlik" aralashmasi zichliklari o'rtasidagi farq ta'sirida beto'xtov ravishda sirkulyatsiyalanadi. Konsentratsiyasi oshgan, ya'ni quyushtirilgan eritma, qurilmaning pastki qismidan chiqarib olinadi.

### 11.3. Moddiy balans.

11.1-rasmga muvofiq bug'latishga  $b_b$  boshlang'ich konsentratsiyali  $G_b$  dastlabki eritma keltiriladi va  $b_{ox}$  konsentratsiyali  $G_q$  quyushtirilgan eritma olinadi. Agar qurilmada  $W$  erituvchi (suv) bug'latilsa, u holda qurilmaning moddiy balansi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$G_b = G_{ox} + W \quad (11.1)$$

Eritmadagi quruq moddaga nisbatan moddiy balans ushbu ko'rinishga ega:

$$\frac{G_b b_b}{100} = \frac{G_{ox} b_{ox}}{100} \quad (11.2)$$

(11.1) va (11.2) tenglamalardan foydalanib bug'latilgan suv miqdorini topish mumkin:

$$W = G_b \left( 1 - \frac{x_b}{x_{ox}} \right) \quad (11.3)$$

Eritmaning oxirgi konsentratsiyasi esa:

$$x_{ox} = G_b \frac{x_b}{G_b - W} \quad (11.4)$$

Quyushtirilgan eritma bo'yicha bug'latgichning ish unumdorligi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$G_{ox} = \frac{G_b \cdot x_b}{x_{ox}} \quad (11.5)$$

### 11.4. Issiqlik balansi.

Issiqlik balansini 11.1-rasmga keltirilgan qurilma bo'yicha amalga oshiramiz. Belgilash kiritamiz:  $D$  – qizdiruvchi bug' sarfi;  $I_q$  – uning entalpiyasi;  $I$  – ikkilamchi bug' entalpiyasi;  $i_b = c_b t_b$  – dastlabki

eritmaning entalpiyasi;  $i_{ox} = c_{ox}t_{ox}$  – oxirgi (quyuqlashtirilgan) eritmaning entalpiyasi;  $i' = c'\theta$  – qizdiruvchi bug' kondensatining entalpiyasi;  $c_b, c_{ox}, c'$  - dastlabki eritma, oxirgi eritma va kondensatning solishtirma issiqlik sig'imi;  $t_b, t_{ox}, \theta$  – dastlabki eritma, oxirgi eritma va qizdiruvchi bug'ning to'yinish haroratlari.

Keltirilgan va sarflangan issiqlik.

Keltirilgan issiqlik:

- dastlabki eritma bilan -  $G_b i_b$ ;
- qizdiruvchi bug' bilan -  $DI_q$ .

Sarflangan issiqlik:

- bug'latilgan eritma bilan -  $G_{ox} i_{ox}$ ;
- ikkilamchi bug' bilan -  $WI$ ;
- bug' kondensati bilan -  $Di'$ ;
- konsentratsiyalashga issiqlik -  $Q_{kon}$ ;
- atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik -  $Q_{yo'q}$ .

Yuqoridagilarga muvofiq issiqlik balansi tenglamasi:

$$G_b i_b + DI_q = G_{ox} i_{ox} + WI + Di' + Q_{kon} + Q_{yo'q} \quad (11.5)$$

Ko'rilayotgan dastlabki eritma bug'latilgan eritma va undan bug'langan suv aralashmasi bo'lib, dastlabki eritmaning issiqlik sig'imi  $c_b$  haroratning  $t_b$  dan  $t_{ox}$  gacha chegarasida o'zgarmas, u holda issiqlik balansi tenglamasi:

$$G_b c_b t_b = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + W c'' t_{ox}$$

bu yerda  $c''$  - suvning o'rtacha issiqlik sig'imi.

Bunda

$$G_{ox} c_{ox} = G_b c_b - W c''$$

$i_b, i_{ox}, i'$  va  $G_{ox} c_{ox}$  qiymatlarni (11.5) tenglamaga qo'yamiz va quyidagiga ega bo'lamiz:

$$G_b c_b t_b + DI_q = G_b c_b t_{ox} - W c'' t_{ox} + WI + D c' \theta + Q_{kon} + Q_{yo'q} \quad (11.6)$$

Ushbu tenglamadan issiqlik tashuvchi (qizdiruvchi bug') bilan vaqt birligi ichida uzatilgan issiqlik miqdorini yoki bug'latish qurilmasining issiqlik yuklamasini  $Q$  aniqlaymiz:

$$Q = D(I_q - c'\theta) = G_b c_b(t_{ox} - t_b) + W(I - c''t_{ox}) + Q_{kon} + Q_{yo'q} \quad (11.7)$$

$Q_{yo'q}$  odatda qurilmaning issiqlik yuklamasining  $Q_{yo'q} = (0,03 - 0,05)Q$  miqdorida qabul qilinadi.

(11.7) tenglamadan qizdiruvchi bug' sarfini aniqlash mumkin:

$$D = \frac{G_b c_b(t_{ox} - t_b) + W(I - c''t_{ox}) + Q_{kon} + Q_{yo'q}}{(I_q - c'\theta)} \quad (11.8)$$

Agar dastlabki eritma qurilmaga qaynash haroratigacha, ya'ni  $t_b = t_{ox}$  qizdirilgan holatda kiritilsa, u holda

$$D = \frac{W(I - c''t_{ox})}{(I_q - c'\theta)} = \frac{Wr}{r'} \approx W \quad (11.9)$$

bu yerda  $I_q - c'\theta = r'$  - qizdiruvchi bug'ni kondensatsiyalanish harorati;  $I - c''t_{ox} = r$  - qaynayotgan eritmada bug'langan suv issiqligi.

Demak, sarflangan qizdiruvchi bug' massasi bug'langan suv massasiga teng bo'ladi, ya'ni bir korpusli qurilmada 1 kg suvni bug'latish uchun 1 kg qizdiruvchi bug' sarflanadi. Amalda atrof-muhitga yo'qotilish hisobiga qizdiruvchi bug' sarfi ortadi va 1,1÷1,2 kg/kg ni tashkil etadi.

### 11.5. Qizdirish yuzasi va harorat yo'qotilishlari.

Uzluksiz harakatli bug'latish qurilmasining qizdirish yuzasi issiqlik uzatishning asosiy tenglamasidan aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{foy}} \quad (11.10)$$

bu yerda  $Q$  – qurilmaning issiqlik yuklamasi;  $K$  – issiqlik uzatish koeffitsiyenti;  $\Delta t_{foy}$  – haroratlarning foydali farqi.

Ushbu holatda tenglamada kattalik  $\alpha_1$  – kondensatsiyalanayotgan bug'dan devorga issiqlik berish koeffitsiyenti;  $\alpha_2$  – devordan qaynayotgan eritmaga issiqlik berish koeffitsiyenti. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti eritmaning konsentratsiyasi – qovushqoqligi ortishi bilan pasayadi.

Bug'latish qurilmasida haroratlarning foydali farqi  $\Delta t_{foy}$  qizdiruvchi bug'ning kondensatsiyalanish harorati  $T$  va bug'lanayotgan eritmani qaynash harorati  $t_q$  orasidagi farqni ifodalaydi:

$$\Delta t_{foy} = T - t_q \quad (11.10)$$

*Harorat yo'qotilishlari.* Bug'latish qurilmasida qizdiruvchi bug' va bug'lanayotgan eritma orasidagi haroratlar farqini pasaytiruvchi harorat yo'qotilishlari yuzaga keladi. Ular harorat depressiyasi  $\Delta'$ , gidrostatik depressiya  $\Delta''$  va gidravlik depressiyani o'z ichiga oladi.

*Harorat depressiyasi  $\Delta'$*  eritmaning qaynash harorati va toza erituvchining qaynash haroratlari orasidagi farqdir.

Har qanday bosimda  $\Delta'$  kattaligini I.A. Tishenko tenglamasidan foydalanib aniqlash mumkin:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{atm} \quad (11.11)$$

bu yerda  $\Delta'_{atm}$  - atmosfera bosimda harorat depressiyasi;  $T$  va  $r$  – ma'lum bosimda toza erituvchini qaynash harorati va uning bug'lanish issiqligi.

*Gidrostatik depressiya -  $\Delta''$ .* Bug'latish qurilmasi quvurlarining bir qismi suyuqlik bilan to'adi va uning ustida bug'-suyuqlikdan iborat emulsiya qatlami joylashadi, yuqoriga qarab ko'tarilgan sari bug'ning miqdori oshib boradi.

Agar quvurdagi suyuqlik va emulsiyani shartli ravishda suyuqlik deb nomlasak, unda gidrostatik bosimlar farqi hisobiga quvurning pastki qismidagi suyuqlikning qaynash harorati tepa qisminikidan yuqori bo'ladi. Gidrostatik samara hisobiga eritma qaynash haroratining ortishi *gidrostatik depressiya* deb ataladi.

To'yingan suv bug'i  $t_s$  va ikkilamchi bug' haroratlari  $T''$  orasidagi farq *gidrostatik depressiyani* beradi:

$$\Delta'' = t_s - T'' \quad (11.12)$$

Vertikal bug'latish qurilmasida jadal harakatlanayotgan eritmalar uchun  $\Delta''$  miqdori 1...3°C oraliqda qabul qilinishi mumkin.

*Gidravlik depressiya -  $\Delta'''$ .* Ushbu depressiya ikkilamchi bug'ning separator va quvurlar orqali harakati davrida ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni yengishi tufayli vujudga keladigan harorat yo'qotilishidir.

Ushbu gidravlik qarshilikni yengish vaqtida bosimning kamayishi, harorat pasayishiga sababchi bo'ladi. Demak, gidravlik qarshiliklar tufayli eritma qaynash haroratining ortishi *gidravlik depressiya* deb nomlanadi. Odatda  $\Delta'''$  ning qiymati 1...1,5°C oralig'ida bo'ladi.

Yuqorida qayd etilgan depressiyalarni hisobga olsak, eritmaning qaynash harorati quyidagicha hisoblanadi:

$$t_q = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (11.13)$$

bu yerda  $T'$  - ikkilamchi bug' harorati.

#### ***Nazorat savollari.***

1. Bug'latish deb nimaga aytiladi?
2. Bug'latish qayerlarda qo'llaniladi?
3. Bug'latish usullarini sanang?
4. Harorat depressiyasini tushuntiring?
5. Gidravlik depressiyani tushuntiring?
6. Gidrostatik depressiyani tushuntiring?
7. Oddiy bug'latishni moddiy va issiqlik balansini yozing?

## **12-MA'RUZA**

## **BIR VA KO'P KORPUSLI BUG'LATISH QURILMALARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### ***Ma'ruza rejasi:***

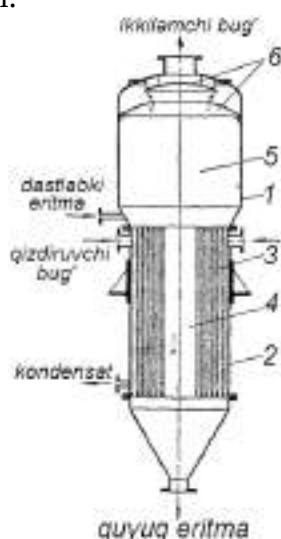
12.1. Ichki isituvchi kamerali va markaziy sirkulyatsion quvurli qurilmalar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 12.2. Osma isituvchi kamerali qurilmalar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |
| 12.3. Tashqi sirkulyatsion quvurli qurilmalar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                     |
| 12.4. Ko'p korpusli to'g'ri oqimli bug'latish qurilmasi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| 12.5. Ko'p korpusli teskari oqimli bug'latish qurilmasi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Bir va ko'p korpusli bug'latish qurilmalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ichki isituvchi kamerali va markaziy sirkulyatsion quvurli qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- osma isituvchi kamerali qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- tashqi sirkulyatsion quvurli qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- ko'p korpusli to'g'ri oqimli bug'latish qurilmasi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- ko'p korpusli teskari oqimli bug'latish qurilmasi to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                                     |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |
| <b>Tayanch iboralar:</b> bug'latish, kamera, sirkulyasiya, qatlam, issiqlik nasosi, barbotaj, korpus, qoldiq, eritma, erituvchi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |

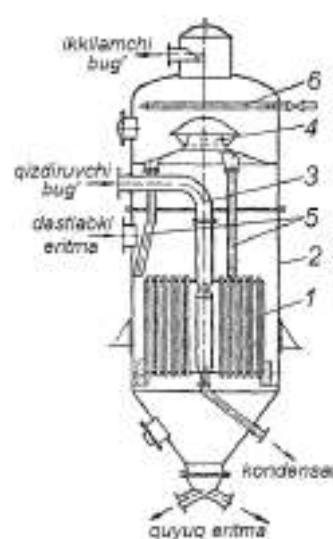
### 12.1. Ichki isituvchi kamerali va markaziy sirkulyatsion quvurli qurilmalar.

Vertikal qoplamaning 1 pastki qismida isitish kamerasi 2 joylashgan (12.1-rasm). O'z navbatida isitish kamerasi ikkita teshikli panjara va unga razvalsovka usulida mahkamlangan qizdiruvchi quvurlardan 3 tashkil topgan. Isitish kamerasining o'rtasida qizdiruvchi quvurga qaraganda diametri kattaroq bo'lgan sirkulyatsion quvur 4 o'rnatilgan. Isitish kamerasining quvurlararo bo'shlig'iga suv bug'i yuboriladi.

Eritma qurilmaga quvurlar panjarasining ustidan kiritiladi va sirkulyatsion quvur bo'ylab pastga tushiriladi, keyin qizdiruvchi quvurlar bo'ylab yuqoriga ko'tariladi va quvurlar bo'shlig'ida ma'lum masofada qaynaydi. Hosil bo'lgan ikkilamchi bug' separatsion bo'shliqga 5 ko'tariladi va tomchi ushlagichda 6 inersion kuch ta'sirida mayda eritma tomchilaridan ajratiladi. Undan keyin ikkilamchi bug' qurilmadan chiqib ketadi. Quyuqlashtirilgan eritma konussimon tubdagi shtuser orqali mahsulot sifatida chiqariladi.



**12.1-rasm. Ichki isituvchi kamera va markaziy sirkulyatsion quvurli bug'latish qurilmasi:**  
1-qoplama; 2-isituvchi kamera; 3-qizdiruvchi quvurlar; 4-sirkulyatsion quvur; 5-separatsion bo'shliq; 6-tomchi ushlagich.



**12.2-rasm. Osma isituvchi kamerali bug'latish qurilmasi:**  
1-isituvchi kamera; 2-qoplama; 3-bug' quvuri; 4-tomchi ushlagich; 5-to'kish quvuri; 6-yuvish uchun teshikli quvuri.

**12.2. Osmo isituvchi kamerali qurilmalar.**

Ushbu turdagi qurilmalarda (12.2-rasm) isituvchi kamera 1 oʻz obechaykasiga ega boʻlib, qoplamaning 2 pastki qismiga erkin, qoʻzgʻaluvchan qilib oʻrnatilgan. Qizdiruvchi bugʻ quvur 3 orqali uzatiladi va kameraning 1 quvurlararo boʻshligʻiga yuboriladi. Issiqligini bergan bugʻ kondensat holatida kameraning pastki qismidan chiqariladi. Isigan eritma qizdirish quvurlaridan yuqoriga koʻtariladi va erkin sirkulyatsiya taʼsirida bugʻlatish jarayoni sodir boʻladi.

Ushbu turdagi qurilmalarda (12.2-rasm) isituvchi kamera 1 o'z obechaykasiga ega bo'lib, qoplamaning 2 pastki qismiga erkin, qo'zg'aluvchan qilib o'rnatilgan. Qizdiruvchi bug' quvur 3 orqali uzatiladi va kameraning 1 quvurlararo bo'shlig'iga yuboriladi. Issiqligini bergan bug' kondensat holatida kameraning pastki qismidan chiqariladi. Isigan eritma qizdirish quvurlaridan yuqoriga ko'tariladi va erkin sirkulyatsiya ta'sirida bug'latish jarayoni sodir bo'ladi.

Bu qurilmada markaziy sirkulyatsion quvur isituvchi kameraning tashqarisida oʻrnatilgan boʻlib, katta koʻndalang kesimga ega. Bu eritma sirkulyatsiyasiga ijobiy taʼsir etadi. Istuvchi kamera erkin, harakatchan holatda oʻrnatilgani uchun quvurlarning teshikli panjaralaridagi zichligi buzilmaydi.

Isituvchi kamera yuzasining katta va isitish quvurlarining zich bo'lishini ta'minlash maqsadida eritmani sirkulyatsiya qilish quvuri bug'latish qurilmasining tashqi tomoniga o'rnatiladi. Bundan tashqari, sirkulyatsiya quvuri isitish kamerasidan tashqarida joylashgani uchun, sirkulyatsiya bo'layotgan eritmaning sovishi natijasida uning tabiiy sirkulyatsiya tezligi ortadi hamda isituvchi kameraning diametri qurilma diametriga nisbatan birmuncha kichkina bo'lib, sirkulyatsiya quvuri esa isituvchi kameraning atrofida ixcham joylashadi. Ikkilamchi bug'ni suv tomchilaridan ajratuvchi tomchi ushlagich ham qurilmadagi bug' bo'shlig'idan tashqarida joylashgan bo'ladi (12.3-rasm).



Bu qurilmalarning konstruktiv tuzilishi ancha murakkab, ammo bu qurilmada issiqlik uzatish samaradorligi yuqori va  $1 \text{ m}^2$  isitish yuzasiga markaziy sirkulyatsion bug'latish moslamalariga nisbatan kam metal sarflanadi.

## 74

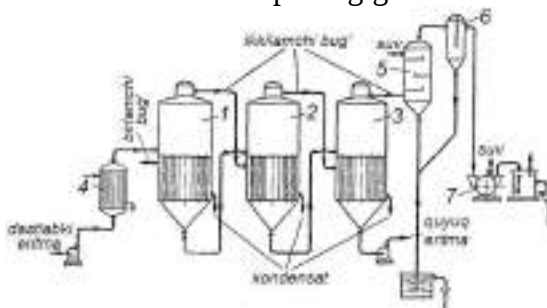
chiqayotgan ikkilamchi bug' ishlatiladi va hokazo. Oxirgi korpusdan chiqayotgan ikkilamchi bug' kondensatorga yuboriladi.

Oxirgi korpusdagi ikkilamchi bug'ning bosimiga ko'ra, ko'p korpusli bug'latish qurilmalari vakuum bilan va yuqori bosim ostida ishlaydigan bo'ladi. Isituvchi bug' va bug'lanayotgan eritma oqimlarining o'zaro harakatiga ko'ra ko'p korpusli bug'latish qurilmalari bir necha sxemalarga bo'linadi:

- 1) bir xil yo'nalishli ko'p korpusli bug'latish qurilmalari;
- 2) qarama-qarshi yo'nalishli ko'p korpusli bug'latish qurilmalari;
- 3) eritma bilan uzluksiz parallel ta'minlanadigan bug'latish qurilmalari;
- 4) murakkab sxemalar;
- 5) ekstra-bug' ajratib olinadigan ko'p korpusli bug'latish qurilmalari.

Sanoatda asosan bir xil yo'nalishli qurilmalar ishlatiladi (12.4-rasm), chunki bular eng tejimli hisoblanadi. Bunday qurilmalarda kichik parametrli suv bug'idan foydalanish mumkin. Ayrim vaqtda qurilmaning birinchi korpusini isitish uchun bug' turbinalarida ishlatib bo'lingan suv bug'idan foydalansa bo'ladi.

Bir xil yo'nalishli qurilma bir necha korpusdan (bizning misolimizda uchta) tashkil topgan. Isitgichda qaynash haroratigacha qizdirilgan dastlabki eritma qurilmaning birinchi korpusiga beriladi. Birinchi korpus birlamchi bug' bilan isitiladi. Birinchi korpusda hosil bo'lgan ikkilamchi bug' issiqlik tashuvchi sifatida ikkinchi korpusga beriladi. Ikkinchi korpusdagi bosim birinchi korpusdagiga nisbatan past, natijada ikkinchi korpusda eritma birinchi korpusdagiga nisbatan ancha past haroratda qaynaydi.



**12.1-rasm. Bir xil yo'nalishli uchta korpusdan iborat bug'latish qurilmasi:**

- 1, 2, 3-bug'latish qurilmalari; 4-isitgich; 5-barometrik kondensator;  
6-tomchi ushlagich; 7-vakuum-nasos.

Ikkinchi korpusda bosim ancha past bo'lganligi sababli, birinchi korpusda qisman bug'langan eritma o'z-o'zidan ikkinchi korpusga o'tadi va eritma ikkinchi korpusda qaynash haroratigacha soviydi. Bunda issiqlik ajralib chiqadi; natijada ma'lum miqdorda qo'shimcha ikkilamchi bug' hosil bo'ladi. Qurilmaning hamma korpuslarida yuz beradigan bu hol eritmaning o'z-o'zidan bug'lanishi deb ataladi.

Ikkinchi korpusda bug'latilgan eritma uchinchi korpusga o'z-o'zidan o'tadi. Uchinchi korpusni isitish uchun ikkinchi korpusdan chiqayotgan ikkilamchi bug' ishlatiladi. Oxirgi korpusdan chiqayotgan ikkilamchi bug' barometrik kondensatorga uzatiladi. Bu yerda bug'ning kondensatsiyalanishi natijasida tegishli siyraklanish (vakuum) hosil bo'ladi. Havo va kondensatsiyalanmay qolgan gazlar issiqlik almashinuv jarayonini susaytiradi. Asosan sovituvchi suv bilan, shuningdek uzatish qurilmalarining zichmasligidan qurilmaga kirib qolgan havo va kondensatsiyalanmagan gazlar tomchi ushlagich orqali vakuum-nasos yordamida so'rib olinadi.

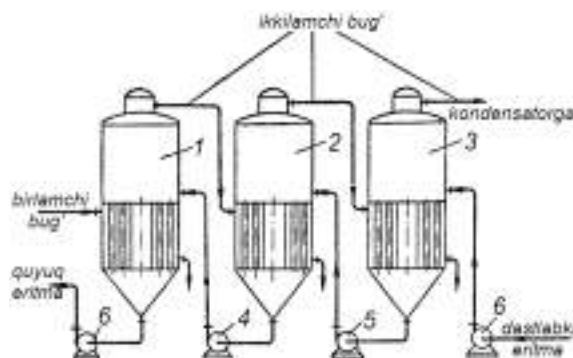
Kondensatordagi qoldiq bosimning qiymati suv haroratining o'zgarishi bilan o'zgaradi. Shu sababli vakuum-nasos yordamida qurilmada tegishli qiymatdagi vakuum saqlab turiladi.

Bir xil yo'nalishli bug'latish qurilmasining asosiy afzalligi shundaki, eritmani bir korpusdan ikkinchisiga o'tkazish uchun issiq oqimda ishlashga moslashgan nasoslarni ishlatish talab qilinmaydi. Har bir keyingi korpusda oldingisiga nisbatan yuqori konsentratsiyali eritmani pastroq bosimda bug'latishga to'g'ri keladi. Shuning uchun oxirgi korpusdagi issiqlik uzatish koeffitsiyenti birinchi korpusdagiga nisbatan bir necha marta kichik bo'ladi. Bu hol bir xil yo'nalishli qurilmalarning kamchiligidir.

### **12.5. Ko'p korpusli teskari oqimli bug'latish qurilmasi.**

Qarama-qarshi yo'nalishli ko'p korpusli bug'latish qurilmalarida (12.2-rasm) isituvchi bug' va bug'latilayotgan eritma bir korpusdan ikkinchisiga o'tishda o'zaro qarama-qarshi tomonga harakatlanadi.

Agar dastlabki eritma uchinchi korpusga berilsa, birlamchi isituvchi bug' birinchi korpusga beriladi. Birinchi korpusda hosil bo'lgan ikkilamchi bug' ikkinchi korpusda issiqlik tashuvchi sifatida ishlatiladi va hokazo. Uchinchi korpusda qisman quyuqlashtirilgan eritma ikkinchi korpusga nasos yordamida o'tkaziladi, so'ngra ikkinchi korpusdan birinчисiga yana nasos yordamida haydaladi. Quyuqlashtirilgan eritma birinchi korpusdan olinadi, oxirgi korpusdan chiqayotgan ikkilamchi bug' esa kondensatorga beriladi.



**12.2-rasm. Qarama-qarshi yo'nalishli ko'p korpusli bug'latish qurilmasi:**  
1, 2, 3-bug'latish moslamalari; 4, 5, 6-nasoslar.

Qarama-qarshi yo'nalishli qurilmalar eritmalarni juda katta konsentratsiyalargacha bug'latishda va quyuqlashtirish jarayonida qovushqoqligi ortib ketadigan eritmalarni bug'latishda ishlatiladi. Bunday qurilmalarning asosiy afzalligi shundaki, ular bir xil yo'nalishli qurilmalarga nisbatan kichik isitish yuzasini talab qiladi. Kamchiligi: qurilmaning ishlashi uchun issiqlik oqimiga mo'ljallangan nasoslar kerak.

#### ***Nazorat savollari.***

1. Bug'latish qurilmalarini turlarini sanang?
2. Kamerali bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
3. Sirkulyatsiyali bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
4. Qatlamli bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
5. Issiqlik nasosli bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
6. Barbotajli bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
7. Ko'p moslamali bug'latish qurilmalari qanday ishlaydi?
8. Bug'latish qurilmalarini hisoblash qanday amalga oshiriladi?
9. Bug'latish qurilmalarini tanlashda nimalarga e'tibor beriladi?

## **13-MA'RUZA**

## **BUG'LATISH QURILMALARINING KONSTRUKSIYALARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### ***Ma'ruza rejasi:***

- 13.1. To'g'ri oqimli (plyonkali) qurilmalar.
- 13.2. Rotorli to'g'ri oqimli qurilmalar.
- 13.3. Majburiy sirkulyatsiyali qurilmalar.
- 13.4. Issiqlik nasosli bug'latish qurilmalari.
- 13.5. Barbotajli bug'latish qurilmalari.
- 13.6. Botirilgan gorelkali bug'latish qurilmalari.

#### ***Mashg'ulotning maqsadi:***

Bug'latish qurilmalarining konstruksiyalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

#### ***Talabaning o'quv faoliyati natijalari:***

- to'g'ri oqimli (plyonkali) qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- rotorli to'g'ri oqimli qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- majburiy sirkulyatsiyali qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- issiqlik nasosli bug'latish qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- barbotajli bug'latish qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- botirilgan gorelkali bug'latish qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Tayanch iboralar:</b> bug'latish, kamera, sirkulyasiya, qatlam, issiqlik nasosi, barbotaj, korpus, qoldiq, eritma, erituvchi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### 13.1. To'g'ri oqimli (plyonkali) qurilmalar.

Ushbu qurilmalarning tabiiy sirkulyatsiyali qurilmalaridan asosiy farqi shundaki, ularda bug'latish jarayoni bug'lanayotgan eritmani isituvchi kameradan bir marta o'tishida sodir bo'ladi. Demak bug'latish eritma sirkulyatsiya qilinmasdan amalga oshiriladi. Bundan tashqari eritma quvurning ichki yuzasi bo'ylab yupqa plyonka shaklida aralashadi va bug'lanadi. Quvurning markaziy qismidan esa ikkilamchi bug' harakatlanadi. Bu gidrostatik depressiya hisobiga harorat yo'qotilishini birdaniga pasayishiga olib keladi.

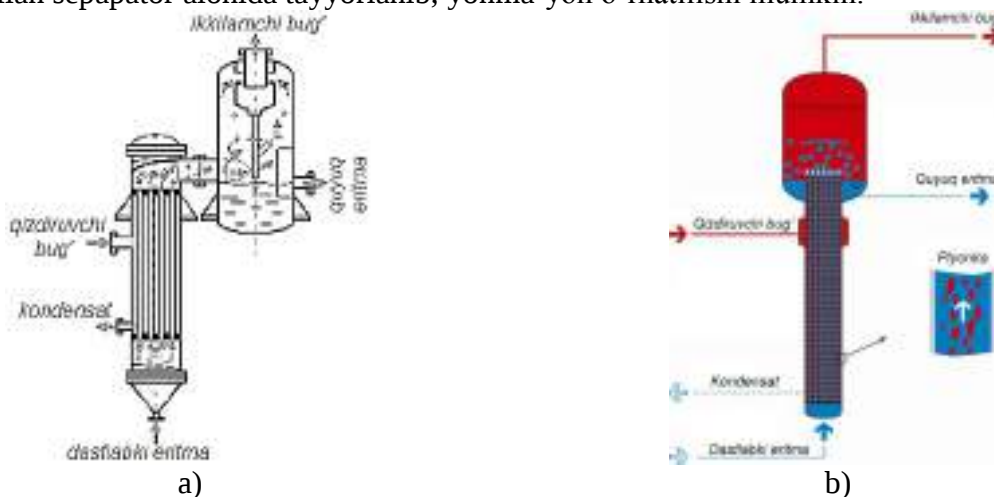
To'g'ri oqimli bug'latish qurilmalari ko'tariluvchi va pastga oqib tushuvchi plyonkali bug'latish qurilmalariga ajratiladi.

Ko'tariluvchi plyonkali bug'latish qurilmasi (13.1-rasm) uzunligi 7-9 m bo'lgan nisbatan kichik diametrli (15-25 mm) quvurlar to'plamidan iborat bo'lgan isitish kamerasi va separatoridan tashkil topgan.

Bug'latilayotgan eritma to'xtovsiz isitish kamerasining pastki qismidan berilib quvurlarning 20-25% qismini to'ldiradi. Qizdiruvchi bug' quvurlararo bo'shliqqa uzatiladi. Bug' ta'sirida eritma qaynaganda, quvurlarning qolgan qismlari bug'-suyuqlik aralashmasi bilan to'ladi. Bu aralashma isitish quvurlarning devori atrofida suyuqlik plyonkasiga va markazida bug'ga ajralgan bo'ladi. Suyuqlik plyonkasi bug' oqimiga ishqalanishi sababli yuqoriga qarab quvurlarning ichki yuzasi bo'ylab katta tezlikda harakat qiladi va bug'lanadi. Isitish quvurlarining yuqorigi qismida bug'ning miqdori ko'payib boradi va natijada eritmaning konsentratsiyasi ham oshib boradi.

Isitish quvurlaridan chiqayotgan ikkilamchi bug'ga aralashgan suyuqlik tomchilari separatoridagi to'siqqa urilib, pastdagi isitish quvurlariga tushadi. Namlangan bug' tomchi ushlagichga tangensial yo'nalishda kirib aylanma harakat qiladi. Tomchi ushlagichda ikkilamchi bug' tarkibida qolgan suv tomchilari markazdan qochma kuch ta'sirida uning devorlariga urilib pastga oqib tushadi, ikkilamchi bug' esa qurilmaning yuqorigi qismidan chiqib ketadi.

Quyushtirilgan eritma separatorning pastki qismida o'rnatilgan shtuser orqali olinadi. Ko'tariluvchi plyonkali bug'latish qurilmalarining umumiy balandligini kamaytirish maqsadida isitish kamerasi bilan separator alohida tayyorlanib, yonma-yon o'rnatilishi mumkin.



13.1-rasm. Ko'tariluvchi plyonkali bug'latish qurilmasi.

Qovushqoqligi katta bo'lgan eritmalarni bug'latish uchun pastga oqib tushuvchi plyonkali bug'latish qurilmalari ishlatiladi (13.2-rasm). Bu qurilmalarda bug'latilishi lozim bo'lgan eritma isitish kamerasining yuqori qismidan beriladi. Eritma esa isitish quvurlarining yuzasi bo'ylab yupqa plyonka holida og'irlik kuchi ta'sirida past oqib tushadi. Bug'-suyuqlik aralashmasi va ikkilamchi bug' qurilmaning pastki qismidagi separatorda ajratiladi.



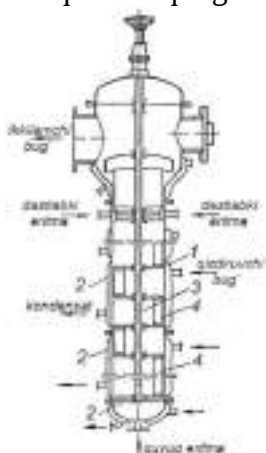
**13.2-rasm. Pastga oqib tushuvchi plyonkali bug'latish qurilmasi:**

1-eritmani kiritish uchun kichik quvur; 2-yuqori kamera; 3-tangensial nasadka; 4-separator; 5-ikkilamchi bug'ni chiqarish uchun kichik quvur; 6-quyuq eritmani chiqarish uchun kichik quvur; 7-qizdiruvchi bug'ni kiritish uchun kichik quvur; 8-kondensatni chiqarish uchun kichik quvur.

Plyonkali bug'latish qurilmalarining isitish kamerasida bug'lanayotgan eritma berilayotgan bug' bilan kam kontaktda bo'lgani uchun u yuqori issiqlik uzatish koeffitsiyentiga ega. Bu qurilmalarning isitish quvurlari uzun bo'lgani uchun foydali haroratlar farqi gidrostatik bosim hisobiga kamayadi, bu narsa faqatgina plyonkali bug'latish qurilmalariga xosdir. Isitish quvurlarida eritma bir marta sirkulyatsiya qilingani uchun eritma quvurlardan tez vaqt ichida o'tadi. Natijada issiqlik ta'siriga moyil eritmalar bug'latilganda bu qurilmalarda uning xususiyati o'zgarmaydi.

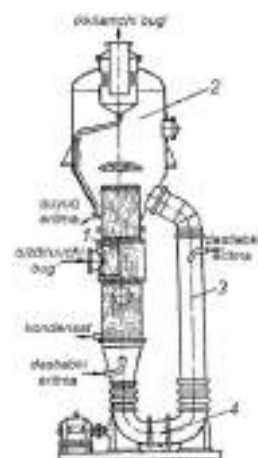
### **13.2. Rotorli to'g'ri oqimli qurilmalar.**

Kristallanuvchi, qovushqoq va issiqlikka chidamsiz eritmalarni bug'latish uchun rotor-plyonkali bug'latish qurilmalari keng qo'llaniladi. Bunday qurilmalar vertikal qoplama silindrdan iborat bo'lib, u bir necha isituvchi seksiyalardan va separatordan iborat (13.3-rasm). Isituvchi seksiyalarning devorlari orasiga issiqlik tashuvchi beriladi. Issiqlik tashuvchi sifatida suv, bug', difenil aralashmasi ishlatiladi. Qoplama ichiga kurakchalari bo'lgan vertikal val (rotor) o'rnatilgan. Rotor elektromotor yordamida aylanma harakat qiladi. Rotorga o'rnatilgan kurakchalar 3 m/s tezlik bilan aylanma harakat qiladi. Shtutserlar orqali isituvchi seksiyalarga tangensial yo'nalishda kirgan eritma kurakchalar yordamida bir xil taqsimlanib, isitalayotgan eritma qoplamaning ichki yuzasidan yupqa plyonka holida tushadi. Bug'latib quyuqlashtirilgan eritma konussimon kameraning pastki qismiga oqib tushib, to'xtovsiz ravishda shtutser orqali tashqariga chiqarib turiladi.



**13.3-rasm. Rotor plyonkali bug'latish qurilmasi:**

1-korpus; 2-bug'li g'ilof; 3-rotor; 4-kuraklar.



**13.4-rasm. Majburiy sirkulyatsiyali bug'latish qurilmasi:**

1-isitish kamerasi; 2-separator; 3-sirkulyatsion quvur; 4-sirkulyatsion nasos.

Hosil bo'lgan ikkilamchi bug' separatorida suv tomchilaridan ajraladi va qurilmaning yuqorigi qismidan chiqib ketadi, suv tomchilari esa isituvchi seksiyalarga oqib tushadi.

Aylanma harakatdagi kurakchalar markazdan qochma kuch ta'sirida eritmani isitilayotgan yuzaga itarib, unga pastga qarab harakat qilishiga imkon tug'diradi.

Eritma bilan isitilayotgan yuzaning kontaktlashish vaqti eritmaning qovushqoqligiga, rotordagi kurakchalarning turiga, aylanish tezligiga va solishtirma unumdorligiga bog'liq.

Bunday bug'latish qurilmalarida eritma isitish yuzasida kam vaqt davomida kontaktda bo'lgani uchun issiqlik uzatish koeffitsiyenti yuqori bo'ladi. Isitish yuzalari kurakchalar vositasida tozalanib turilgani uchun kristallanuvchi eritmalarini quruq holga keltirguncha bug'latish mumkin.

### **13.3. Majburiy sirkulyatsiyali qurilmalar.**

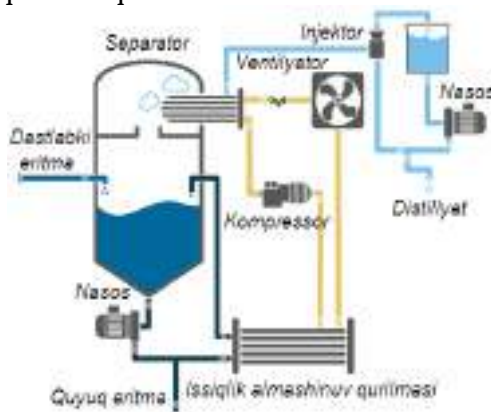
Quyuq, solishtirma og'irligi katta, qovushqoqligi yuqori bo'lgan eritmalarining tabiiy sirkulyatsiya tezligi juda kam bo'ladi. Bu turdagi eritmalar yuqorida bayon qilingan bug'latish qurilmalarida bug'latilganda issiqlik uzatish koeffitsiyenti ham kam bo'lib, qurilmaning unumdorligi pasayib ketadi.

Sirkulyatsiya tezligini va issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish uchun majburiy sirkulyatsiyali bug'latish qurilmalari ishlatiladi. Suyuqliklarning sirkulyatsiyasi propellerli va markazdan qochma nasoslar yordamida amalga oshiriladi.

Dastlabki bug'latilishi kerak bo'lgan eritma isitish quvurlarining pastki qismiga nasos orqali beriladi, quyuqlashgan eritma esa separatorning pastki qismidan ajratiladi (13.4-rasm). Isitish quvurlari ichidagi suyuqliklarning sirkulyatsiya tezligi 2-2,5 m/s ni tashkil qiladi. Bunday qurilmalar quyidagi afzalliklarga ega: tabiiy sirkulyatsiya bilan ishlaydigan qurilmalarga nisbatan issiqlik uzatish koeffitsiyenti 3-4 marta katta, kristallanuvchi eritmalarini bug'latishda isituvchi yuzada ifloslanishlar paydo bo'lmaydi. Bu qurilmalarning kamchiligi shundaki, nasosning ishlashi uchun qo'shimcha energiya sarflanadi.

### **13.4. Issiqlik nasosli bug'latish qurilmalari.**

Bunday qurilmalar sanoatda har xil meva sharbatlarini, yuqori haroratlar ta'siriga moyil eritmalarini bug'latish uchun ishlatiladi. Dastlabki eritma bir nechta issiqlik almashinuv qurilmalari orqali bug'latishga kiritiladi (13.5-rasm). Birinchi issiqlik almashinuv qurilmasi quyuq eritmaning chiqish joyida o'rnatilgan, u yerda dastlabki eritma quyuq eritmada ortiqcha issiqlikni oladi. Ikkinchi issiqlik almashinuv qurilmasi distillyatning chiqish joyida o'rnatilgan, u yerda dastlabki quyuq eritmada ortiqcha issiqlikni oladi.



**13.5-rasm. Issiqlik nasosli bug'latish qurilmasi.**

Shunday qilib dastlabki qizdirilgan eritma qaynatish kamerasidan o'tadi va qaynash kamerasida joylashgan eritma bilan aralashadi. Keyin eritma sirkulyatsion nasos yordamida issiqlik almashinuv qurilmasi orqali o'tkaziladi, u yerda isiydi va yana qaynash kamerasiga qaytadi. Qaynash kamerasiga kirishda haroratni yuqoriligi hisobiga eritmaning bir qismini bir zumda bug'lanishi sodir bo'ladi, qolgan qismi qaynash kamerasida qoladi va qaytadan sirkulyatsiya qilinadi.

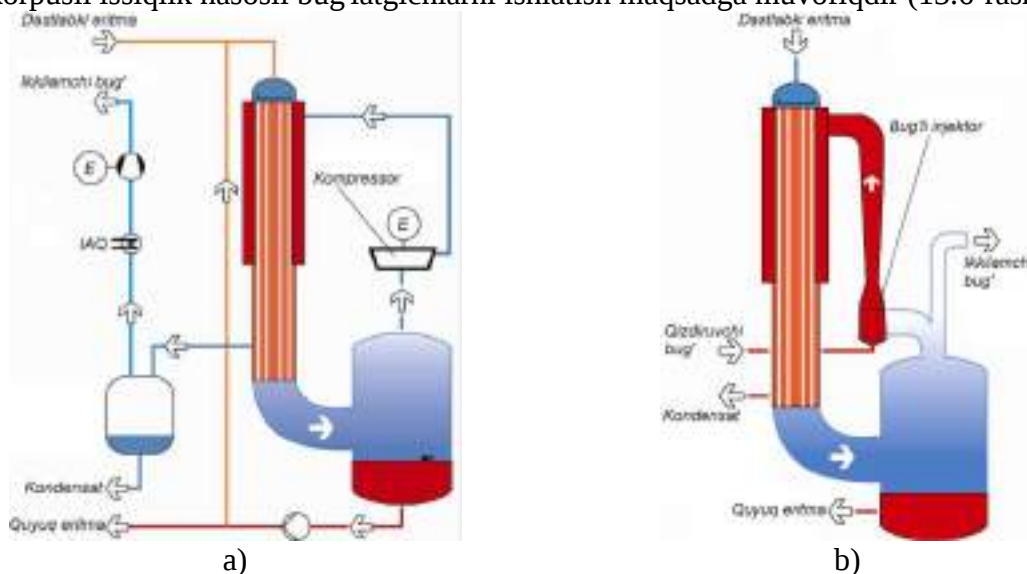
Eritmaning bug'langan qismi kameradan mexanik havo so'rgich yordamida so'rib olinadi. Havo so'rgichda havo siqiladi va uning harorati ortadi. Qizigan bug'lar sirkulyatsion konturdagi issiqlik almashinuv qurilmasida kondensatsiyalanadi va issiqligini sirkulyatsion konturdagi eritmaga uzatadi.

Kondensatsiyalangan bug'lar distillyat bakiga quyiladi va distillangan suv sifatida issiqlik almashinuv qurilmasi orqali bug'latgichdan chiqarib yuboriladi.

Bug' kompressorli va bug' injektorli bug'latish qurilmalari. Bunday qurilmalarda hosil bo'lgan ikkilamchi bug' bosimi isituvchi bug'ning bosimiga teng bo'lguncha siqiladi (13.6-rasm). Siqilgan bug' qurilmani isitish uchun ishlatiladi. Ikkilamchi bug'ni siqish uchun kompressorlar va bug' oqimli injektorlar ishlatiladi. Issiqlik nasosiga ega bo'lgan bug'latish qurilmalarida tashqaridan sarflanadigan energiya ikkilamchi bug' haroratini oshirish uchun xizmat qiladi. Qurilmani dastlab ishga tushirishda yangi bug' beriladi. Bu bug' bilan eritma qaynaguncha isitiladi. Keyinchalik bug'latish ikkilamchi bug' hisobiga boradi. Ish paytida nazariy jihatdan tashqaridan bug' talab qilinmaydi. Amaliy jihatdan esa tashqaridan bir oz bug' berib turish kerak, chunki eritmani isitish va issiqlik yo'qotilishlarini qoplash uchun qo'shimcha bug' talab qilinadi.

Issiqlik nasosli bug'latish qurilmalari eritma bilan erituvchining qaynash haroratlarining farqi past ( $5-10^{\circ}\text{C}$ ) bo'lgan vaqtda ishlatiladi. Eritmaning qaynash harorati yuqori bo'lsa, bu usuldan foydalanilmaydi, chunki ikkilamchi bug'ni siqish uchun ko'p energiya sarfi bo'ladi.

Ayrim paytlarda texnologik sabablarga ko'ra, ko'p korpusli bug'latish qurilmalarini qo'llab bo'lmaydi. Masalan, yuqori haroratlarga chidamsiz eritmalarning sifat ko'rsatkichlarini saqlab qolish uchun bir korpusli issiqlik nasosli bug'latgichlarni ishlatish maqsadga muvofiqdir (13.6-rasm).

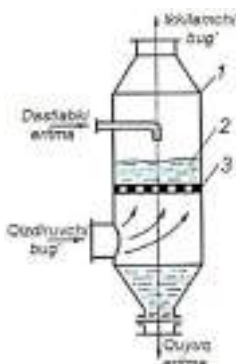


13.6-rasm. Bir korpusli bug' kompressorli (a) va bug' injektorli (b) bug'latish qurilmalari.

### 13.5. Barbotajli bug'latish qurilmalari.

Yuqori haroratda qaynaydigan va o'ta agressiv eritmalar-sulfit, xlorid, fosfat kislotaning eritmaları isituvchi inert gazlarning bevosita kontakti ta'sirida barbotajli bug'latish qurilmalarida bug'latiladi.

Issiqlikni yaxshi o'tkazadigan, zanglamaydigan, yuqori haroratlarga chidamli materiallarni topish qiyin bo'lgani uchun, bunday eritmalarni issiqlik tashuvchini devor orqali berish yo'li bilan bug'latib bo'lmaydi. Ichki qismi o'tga chidamli va zanglamaydigan material (g'isht, keramik plita) bilan futerovka qilingan metal qoplamali qurilmalarda eritmalar bevosita tutun gazlarining aralashuvi ta'sirida bug'latiladi. Gaz beriladigan barbotaj quvurlari termosilid, grafit va zanglamaydigan materiallardan tayyorlanadi.



13.7-rasm. Barbotajli bug'latish qurilmasi:

1-korpus; 2-eritma; 3-barbotaj tarelka.

13.7-rasmda tutunli gaz bilan ishlaydigan barbotajli bug'latish qurilmasining sxemasi ko'rsatilgan. Tutunli gaz qoplamaning pastki qismiga beriladi va barbotajli to'r orqali o'tganida eritmaning ichida mayda pufakchalarga ajraladi; natijada katta issiqlik almashinuvi yuzasi hosil bo'ladi. Bunda erituvchi jadallik bilan bug'lanishga uchraydi. Gaz pufakchalari suv bug'lari bilan to'yingandan so'ng eritmaning yuzasiga chiqadi; bu pufakchalar yorilgandan keyin bug'-gaz aralashmasini eritmaning ustidagi bo'shliqqa siljishi uchun xizmat qiladi. Eritmaning ustidagi harorati eritma haroratiga nisbatan 2-5<sup>0</sup>S ga kattaroq bo'ladi.

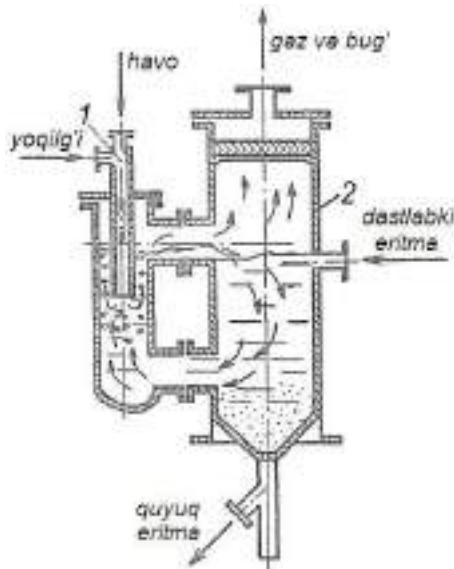
Barbotajli qurilmalar bitta to'rli va bir necha seksiyalarga ajratilgan bo'lishi mumkin. Bundan tashqari aralashtirgichi bo'lgan barbotajli qurilmalar ham ishlatiladi.

Bunday qurilmalarning afzalligi-tayyorlash oson, ishlatishda esa qulay. Kachiligi: yonish mahsulotlari ta'sirida bug'latilayotgan eritma ifloslanib qolishi mumkin.

### **13.6. Botirilgan gorelkali bug'latish qurilmalari.**

Eng samarali bug'latish botirilgan gorelkali bug'latish qurilmalarida amalga oshiriladi, shunday qurilmalardan birining konstruksiyasi 13.8-rasmda keltirilgan. Qizdiruvchi gazlar eritma qatlamidan yorib o'tganda juda katta fazalararo yuza hosil bo'ladi va suyuqlik pufakchalari gaz bilan aralashadi. Natijada jadal issiqlik almashinuvi sodir bo'ladi.

Qurilma korpusining yonida bitta gorelka joylashtirilgan bo'lib, u bug'latilayotgan eritmaga botirilgan. Qurilmada eritmaning sathi quyish quvuri orqali o'zgaras qilib ushlab turiladi. Yoqilg'ini yonishi natijasida hosil bo'lgan tutun gazlari eritmani yorib o'tadi va eritmani bug'latadi. Hosil bo'lgan bug'-gaz aralashmasi qurilma korpusining yuqori qismidan chiqarib yuboriladi. Quyuqlashtirilgan eritma qurilma korpusining konussimon tubidan to'kib olinadi.



**13.8-rasm. Botirilgan goyerlkali bug'latish qurilmalari:**

1-gorelka; 2-korpus.

Bunday turdagi bug'latish qurilmalarida mash'alasiz yonuvchi maxsus gorelkalardan foydalaniladi. Bug'lanayotgan eritma va qizdiruvchi issiqlik tashuvchini bevosita to'qnashuvida ishlovchi barbotajli bug'latish qurilmalarida devor orqali issiqlik uzatiladigan qurilmalarga qaraganda yuqori issiqlik uzatish ko'effitsiyentiga erishish mumkin.

### **Nazorat savollari.**

1. Bug'latish qurilmalarini turlarini sanang?
2. Kamerali bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
3. Sirkulyatsiyali bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
4. Qatlamli bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
5. Issiqlik nasosli bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
6. Barbotajli bug'latish qurilmalarini tushuntiring?
7. Ko'p moslamali bug'latish qurilmalari qanday ishlaydi?
8. Bug'latish qurilmalarini hisoblash qanday amalga oshiriladi?
9. Bug'latish qurilmalarini tanlashda nimalarga e'tibor beriladi?

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                  |
| 14.1. Nam havoning fizik xususiyatlari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                  |
| 14.2. Nam havo uchun I-d diagramma va uni qurish tamoyillari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                  |
| 14.3. Havo va suv o'rtasida issiqlik va massa almashinuv (IMA) jarayonlari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                  |
| 14.4. Havoni aralashish jarayonlarining turli holatlarini I-d diagrammada tasvirlash.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                  |
| 14.5. Aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalarida IMA jarayonlari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                  |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | issiqlik va massa almashinuv jarayonlari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                  |
| - nam havoning fizik xususiyatlari to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- nam havo uchun i-d diagramma va uni qurish tamoyillari to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- havo va suv o'rtasida issiqlik va massa almashinuv (ima) jarayonlari to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- havoni aralashish jarayonlarining turli holatlarini i-d diagrammada tasvirlash to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalarida ima jarayonlari to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                                                  |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                  |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                  |
| <b>Tayanch iboralar:</b> nam havo, diagramma, massa almashinuv, aralashtirgich, nasadka, forsunka, purkagich, sachratgich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                  |

## 14.1. Nam havoning fizik xususiyatlari.

Havo bir nechta gazlarning aralashmasidan tashkil topgan. Uning yer yuzasidagi taxminiy tarkibi 14.1-jadvalda keltirilgan. Bundan tashqari havoda turli miqdorda suv bug'i va chang mavjud.

2.1-jadval.

## Havoning hajmiy va massaviy tarkibi.

| Moddalar         | Massa bo'yicha tarkibi, % | Hajm bo'yicha tarkibi, % |
|------------------|---------------------------|--------------------------|
| Kislorod         | 23,10                     | 20,90                    |
| Azot             | 75,55                     | 78,13                    |
| Argon            | 1,30                      | 0,94                     |
| Karbonat kislota | 0,05                      | 0,03                     |

Issiqlik hisoblarida 1 kg absolyut quruq havoga mos keluvchi nam havoning entalpiyasidan foydalaniladi:

$$I = c_{q,h}t + xi_{sb} \quad (14.1)$$

bu yerda  $t$  – havoning harorati;  $i_{sb}$  – o'ta qizigan suv bug'ining entalpiyasi;  $x$  – havoning nam saqlami, ya'ni 1 kg quruq havodagi suv bug'larining massasi, kilogramda;  $c_{q,h}$  – quruq havoning issiqlik sig'imi.

Nam havoning entalpiyasi L.K. Ramzinning formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$I = I_{q,h} + i_{or} = 0,24t + 0,001d(595 + 0,47t)$$

yoki

$$I = t + 0,001d(2493 + 1,97t) \quad (14.1a)$$

Havoning namligini aniqlashda ikkita tushunchadan foydalaniladi: absolyut va nisbiy namlik.

Absolyut namlik yoki havoning nam saqlami,  $1\text{ m}^3$  nam havodagi suv bug‘larining massasini xarakterlaydi.

Havoning nisbiy namligi havoning absolyut namligini havoning shu bosim va haroratida hosil bo‘ladigan maksimal namligiga nisbati yoki  $1\text{ m}^3$  nam havoda mavjud suv bug‘i massasini xuddi shu bosim va haroratda  $1\text{ m}^3$  nam havoni to‘liq to‘yinishi uchun zarur bo‘lgan suv bug‘i massasiga nisbatini ifodalaydi:

$$\varphi = \rho_{sb}/\rho_t \quad (14.2)$$

bu yerda  $\rho_{sb}$  – zichlik.

Havo tarkibidagi suv bug‘lari ko‘pincha o‘ta qizigan hisoblanadi. yu shuning uchun texnik hisoblarda nam havo shartli ravishda ideal gaz sifatida qaralib, Boyl-Mariot, Gey-Lyussak va Daltonning parsial bosimlar qonunidan aniqlanadi. Ma’lumki Dalton qonuniga muvofiq nam havoning bosimi quruq havo va undagi suv bug‘larining parsial bosimlarining yig‘indisiga teng. Ushbu holda nisbiy namlik nam havodagi suv bug‘larining haqiqiy parsial bosimini maksimal bosimiga nisbatiga teng bo‘ladi:

$$\varphi = p_{sb}/p_{maks} = p_{sb}/p_t \quad (14.2a)$$

Nam saqlamini gramm bo‘lingan kilogram quruq havoda o‘lchashda uni  $d$  orqali, uni kilogramm bo‘lingan kilogram quruq havoda o‘lchashda –  $x$  orqali belgilash qabul qilingan. Nam saqlamining son qiymatini havo va suv bug‘ining holat tenglamasidan foydalanib aniqlash mumkin:

$$p_h V = G_h R_h T \text{ va } p_{sb} V = G_{sb} R_{sb} T$$

Ikkinchi tenglamani birinchisiga bo‘lib quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{G_{sb}}{G_h} = \frac{R_h p_{sb}}{R_{sb} p_h}$$

Havo uchun  $R_h = 288\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$  va suv bug‘i uchun  $R_{sb} = 462\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$  gaz doimiylarining qiymatlarini qo‘yamiz va nam saqlamini aniqlash tenglamasiga ega bo‘lamiz:

$$x = \frac{G_{sb}}{G_h} = \frac{288 p_{sb}}{462 p_h} = 0,622 \frac{p_{sb}}{p_h} \quad (14.3)$$

yoki

$$d = 622 \frac{p_{sb}}{p_h} \quad (14.4)$$

Havoning parsial bosimini  $p_h$ ,  $B - p_{sb}$  (bu yerda  $p_{sb} = \varphi p_t$  va  $B$  – bug‘-gaz aralashmasining umumiy bosimi) kattalik bilan almashtiramiz va barometrik bosim ostida joylashgan nam havo uchun nam saqlami quyidagiga teng bo‘ladi:

$$d = 622 \frac{p_{sb}}{B - p_{sb}} = 622 \frac{\varphi p_t}{B - \varphi p_t} \quad (14.4b)$$

$\varphi = 1$  bo‘lganda havodagi maksimal nam saqlami:

$$d_{maks} = d_t = 622 \frac{p_t}{B - p_t} \quad (14.4v)$$

Agar (14.4b) tenglama  $p_{sb}$  ga nisbatan yechilsa, u holda:

$$p_{sb} = \frac{Bd}{622 + d} \quad (14.5)$$

va shunga o‘xshash

$$p_h = \frac{622B}{622 + d} \quad (14.6)$$

1 kg quruq havoga nisbatan nam havoning hajmi:

$$V_{n.h} = \frac{R_h T}{M_h (B - \varphi p_t)} = \frac{288 T}{B - \varphi p_t} \quad (14.7)$$

bu yerda  $B$  – bug‘-gazli aralashmaning bosimi;  $p_t$  – quruq termometrning haroratida suv bug‘larining to‘yinish bosimi;  $R_h = 8314\text{ J}/(\text{kmol}\cdot^\circ\text{C})$  - universal gaz doimiysi;  $M_h \approx 29$  – havoning molyar massasi;  $\varphi$  – havoning nisbiy namligi;  $T$  – ishchi harorat.

Nam havoning solishtirma hajmini nam havoning hajmini  $V_{n.h}$  1 kg quruq havodagi aralashmaning massasiga, ya’ni  $1 + 0,001d$  ga nisbatidan aniqlash mumkin:

$$v_{n.h} = \frac{V_{n.h}}{1 + 0,001d} \quad (14.8)$$

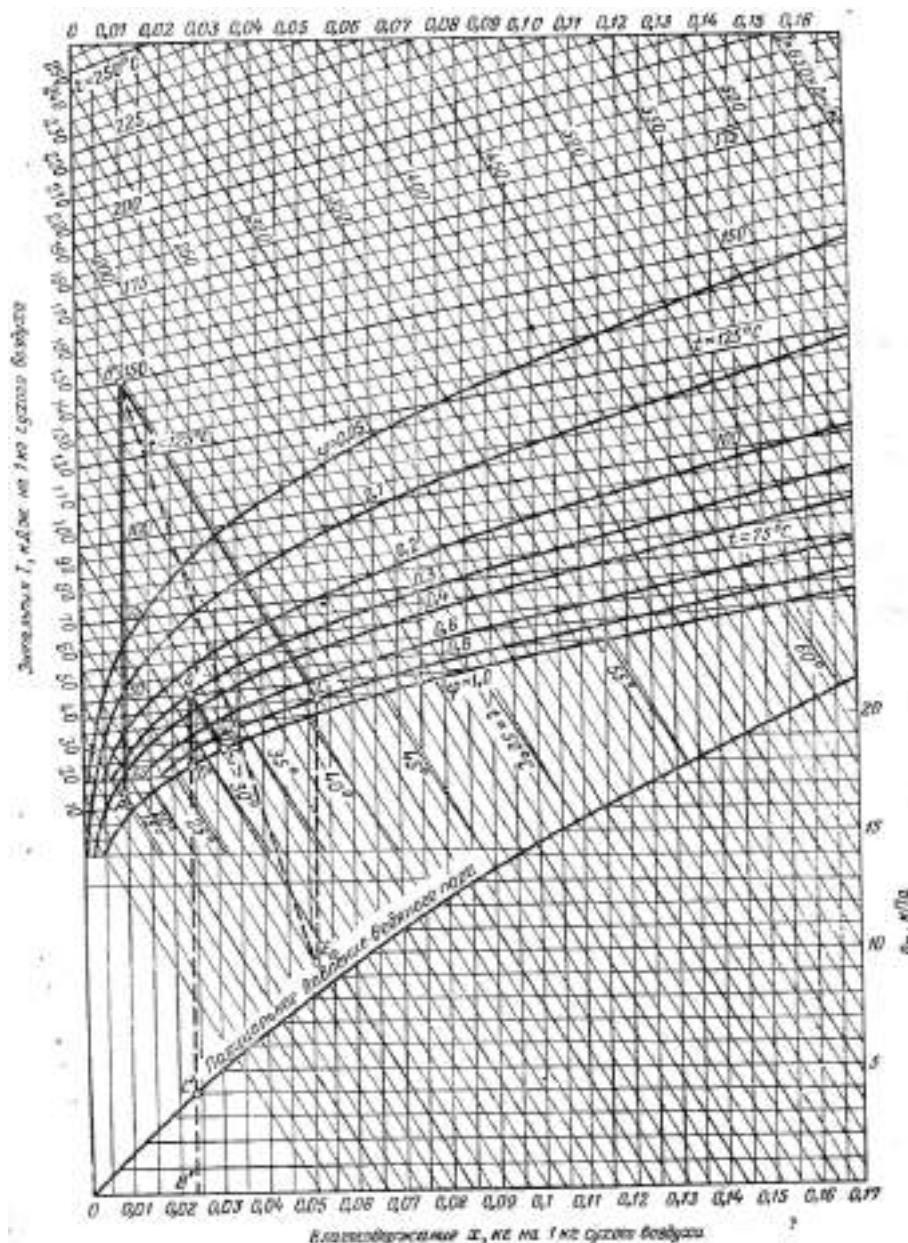
Nam havoning zichligi:

$$\rho_{n.h} = \rho_0 \frac{T_0 B}{T B_0} \left( 1 - \frac{0,378 \varphi}{B} p_t \right) \quad (14.9)$$

bu yerda  $\rho_0 = 1,293$  – normal sharoitda quruq havoning zichligi;  $T_0 = 273\text{ K}$  – normal harorat.

(14.7) va (14.9) tenglamalarda  $B$ ,  $B_0$  va  $p_t$  bosim bir xil birliklarda ifodalanishi kerak.

Yuqorida keltirilgan formulalar taxminiy hisoblashlar uchun ishlatiladi. Aniq hisoblashlar uchun jadval yoki real bug'-gaz aralashmalar uchun tenglamalar bo'yicha qurilgan  $I - d$  diagrammadan foydalaniladi.



14.1-rasm. Nam havoning  $I - x$  – diagrammasi.

#### 14.2. Nam havo uchun $I - d$ diagramma va uni qurish tamoyillari.

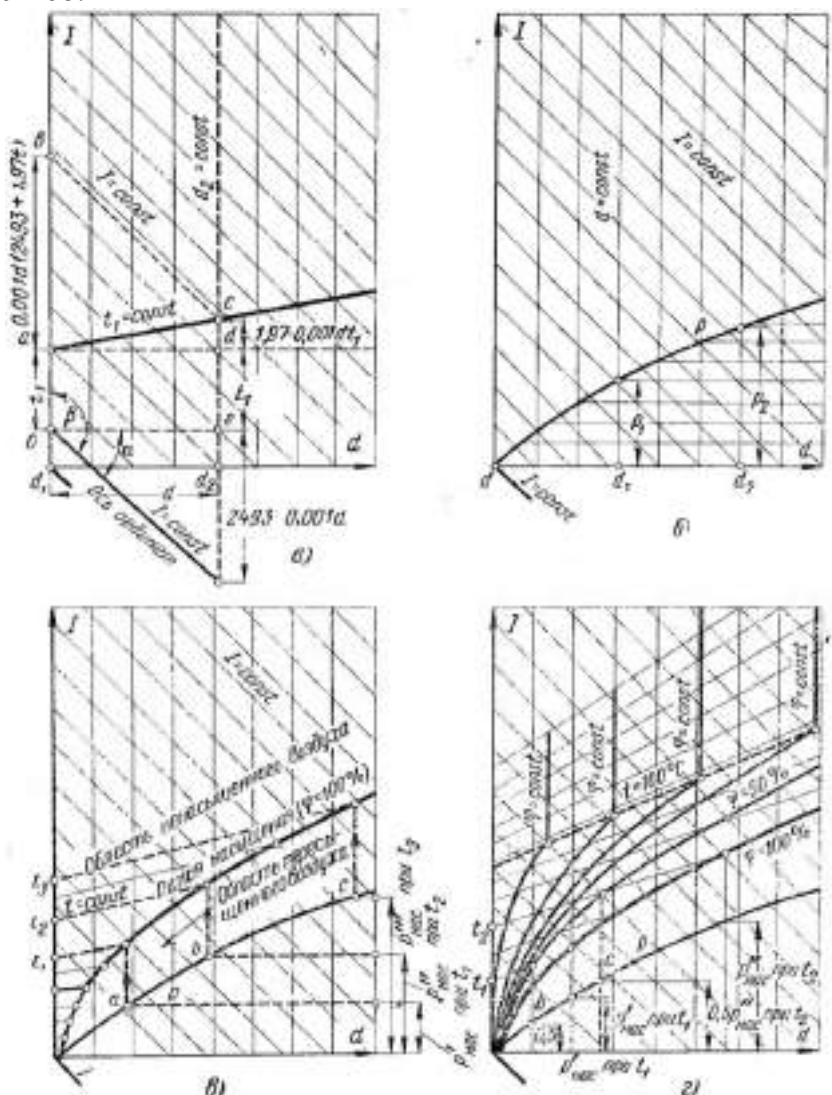
Nam havo uchun  $I - d$  – diagramma L.K. ramzin tomonidan 1918 yilda tuzilgan. U issiqlik va massa almashinuv fanining rivojlanishi uchun katta ahamiyatga ega va quyidagi hisoblarda keng qo'llaniladi: isitish, shamollatish, havoni maromlash, quritish qurilmalari va hokazo.

Maqsadiga ko'ra  $I - d$  – diagramma haroratning turli oraliqlarida, entalpiya va nam saqlamining turli masshtablarida quriladi. Isitish va shamollatish tizimlarini hisoblash harorat oralig'i  $-30$  dan  $+60^\circ\text{C}$  gacha bo'lgan  $I - d$  – diagramma mavjud. Quritgichlarni hisoblash uchun harorat oralig'i  $200$  dan  $1300^\circ\text{C}$  gacha va nam saqlami  $80$  dan  $700$  g/kg quruq havo oralig'ida bo'lgan  $I - d$  – diagramma mavjud.

$I - d$  – diagrammadan tashqari Molening  $I - x$  – diagrammasi ham mavjud bo'lib, u tuzilishi bo'yicha birinchisidan farq qilmaydi.  $I - d$  – diagramma nam havo uchun quriladi, unda barcha kattaliklar  $1$  kg quruq havoga mos keladi.

14.1-rasmda Molening  $I - x$  – diagrammasi tasvirlangan.  $I - d$  va  $I - x$  – diagrammalar o'zgarmas nisbiy chizig'ida  $\varphi = \text{const}$  juda qulay joylashishi uchun qiyshiq koordinatalar tizimida quriladi. Nam saqlamini hisoblash uchun masshtab korrdinata boshi orqali o'tuvchi gorizontol to'g'ri

chiziqda joylashadi. Diagrammalarning absissa o'qi bo'ylab nam saqlami, ordinata o'qi bo'ylab – havo entalpiyasi joylashtirilad.



14.1-rasm. Nam havo uchun  $I - d$  – diagrammani qurish.

Yuqorida keltirilgan soddalashtirilgan formulalar asosida nam havo uchun  $I - d$  – diagrammani qurish tamoyillari 14.2-rasmda ko'rsatilgan.  $I - d$  – diagramma  $0,993 \cdot 10^5 Pa$  barometrik bosim uchun quriladi. Tanlangan bosim taxminan o'rtacha yillik barometrik bosimga mos keladi. Nam havoning parametrlarini aniqlash uchun soddalashtirilgan formulalardan foydalanish, aniq formulalar bo'yicha qurilgan  $I - d$  – diagramma bilan taqqoslangan 3÷5% xatolik beradi.

$I - d$  – diagrammani qurish listga belgilangan masshtabda  $d = const$  nam saqlami chizig'ini va  $I = const$  chizig'ini chizishdan boshlanadi. Nam havo entalpiyasi uchun izoterma yo'nalishi (14.1a) ifodadan  $I = t + 0,001d(2493 + 1,97t)$  kabi aniqlanadi. Ikkita nam saqlamini  $d_1 = 0$  va  $d_2 = d$  beramiz va (14.1a) formula bo'yicha ikkita nuqtani topamiz (14.2-rasm, a):  $a$  nuqta berilgan harorat  $t_1$  va nam saqlami  $d_2 = d$  bo'lganda quruq havo entalpiyasiga mos keladi.  $b$  nuqta orqali o'tuvchi  $I_1 = const$  chiziqni  $d_2 = const$  chiziq bilan kesishuvi izotermaning ikkinchi  $c$  nuqtasini beradi.  $a$  nuqtani  $c$  nuqta bilan to'g'ri chiziq orqali birlashtirib  $t_1 = const$  izotermani hosil qilamiz.

Ma'lumki, nam salami o'zgaras bo'lganda tenglamadagi  $0,001d(2493 + 1,97t)$  qismi ortganligi hisobiga haroratni ortishi bilan suv bug'larining entalpiyasi ortadi, u holda  $I - d$  – diagrammadagi izotermalar nam saqlami ortishi bilan ortib boradi (14.2-rasm, a da  $cd$  qirqim harorat ortishi bilan ortadi).

(14.5) formulaga muvofiq barometrik bosim o'zgaras bo'lganda havo tarkibidagi suv bug'ining parsial bosimi faqatgina nam saqlamiga bog'liq bo'ladi. (14.5) tenglamani  $d$  o'zgaruvchan qiymat uchun yechib quyidagiga ega bo'lamiz, masalan,  $d = 0$  bo'lganda  $p = 0$ ;  $d = d_1$  bo'lganda  $p = p_1$ ;  $d = d_2$  bo'lganda  $p = p_2$  va hokazo.

Parsial bosim uchun belgilangan masshtabni qabul qilamiz va suv bug'ining parsial bosimi egri chizig'ini quramiz (14.2-rasm, b), u odatda diagrammaning quyi qismida joylashadi.

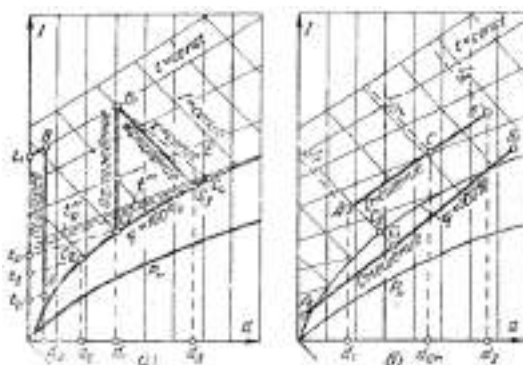
$I - d$  – diagrammada izotermalar va parsial bosim chiziqlari qurib bo'lingandan keyin  $\varphi = 100\%$  chiziqni qurish qiyinchilik tug'dirmaydi.  $\varphi = 100\%$  bo'lganda havo suv bug'i bilan to'liq to'yingan va ularning parsial bosimi shu haroratda to'yingan bug'ning bosimiga teng, ya'ni  $p_p = p_t$ . Suv bug'i jadvalidan to'yingan suv bug'ining bir nechta haroratga mos keluvchi bosimini topamiz, masalan:  $t_1$  bo'lganda  $p_{t1}$ ,  $t_2$  bo'lganda  $p_{t2}$ ,  $t_3$  bo'lganda  $p_{t3}$  va hokazo. Keyin parsial bosim chizig'idan  $p_{t1}$ ,  $p_{t2}$ ,  $p_{t3}$  bosimlarga mos keluvchi  $a$ ,  $b$  va  $c$  nuqtalarni topamiz. Ushbu nuqtalardan ordinata o'qiga parallel va mos keluvchi  $t_1$ ,  $t_2$  va  $t_3$  izotermalar bilan kesishuvchi to'g'ri chiziqlar o'tkazamiz. Kesishuv nuqtalarini birlashtirib  $\varphi = 100\%$  chiziqni hosil qilamiz.

$\varphi = 100\%$  to'yinish chizig'i  $I - d$  – diagrammani ikki qismga ajratadi, uning yuqorisi nam to'yinmagan havo sohasi va pastki qismi o'ta to'yingan nam havo sohasi, bu sohada ortiqcha namlik faqatgina tomchi holatida bo'ladi. Shuningdek  $\varphi = 100\%$  chizig'i shu haroratda havoni namlik bilan maksimal to'yinish darajasini ko'rsatadi.

$\varphi = \text{const} < 100\%$  chizig'ini qurish  $\varphi = 100\%$  chizig'ini qurish kabi amalga oshiriladi, faqatgina parsial bosim egri chizig'ida  $p_t$  ga mos keluvchi nuqtalar emas, balki  $\varphi p_t/100$  ga mos keluvchi nuqta aniqlanadi. Keyin  $\varphi = \text{const} < 100\%$  chizig'ini grafik usulda qurish  $\varphi = 100\%$  chizig'ini qurish kabi amalga oshiriladi. Masalan  $\varphi = 50\%$  chizig'ini quramiz, u holda  $p_p = 0,5p_t$  bo'ladi.  $t_1$  bo'lganda  $p_t$  ni va  $t_2$  bo'lganda  $p_t$  ni bilib,  $t_1$  bo'lganda  $0,5p_t$  ( $b$  nuqta) va  $t_2$  bo'lganda  $0,5p_t$  ( $a$  nuqta) aniqlaymiz (14.2-rasm, g). Ushbu nuqtalardan  $t_1$  va  $t_2$  izotermalar bilan kesishguncha ordinata o'qiga parallel to'g'ri chiziqlar o'tkazamiz. Kesishuv nuqtalarini birlashtiramiz va  $\varphi = 50\%$  chiziqni hosil qilamiz.

#### 14.3. Havo va suv o'rtasida issiqlik va massa almashinuv (IMA) jarayonlari.

Moddalar orasidagi issiqlik va massa almashinuvining xilma xil jarayonlari havoni qizdirish, sovitish, namlantirish yoki quritish bilan kuzatiladi. Ba'zan ular turli parametrdagi havoni aralashishi natijasida sodir bo'ladi.



14.3-rasm. Asosiy jarayonlarni  $I - d$  – diagrammada tasvirlanishi.

Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmasida havoni qizdirish jarayoni. Ushbu jarayon  $I - d$  – diagrammada  $d = \text{const}$  vertikal chizig'i bilan tasvirlanadi, bunda havoning nam saqlami o'zgarmasdan qoladi (14.3-rasm, a) dagi AB chizig'i).

Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmasida havoni sovitish jarayoni. Agar sovitishda havo haroratini pasayishi kichik bo'lsa va namlik ajralishi kuzatilmasa, u holda bu jarayon ham nam saqlami o'zgarmas bo'lganda sodir bo'ladi va AB chiziq yo'nalishi bo'yicha teskari BA chiziq bilan tasvirlanadi (14.3-rasm, a).

Agar nam havoni sovitish davom ettirilsa, u holda belgilangan haroratga yetganda suv bug'larining kondensatsiyalanishi va uni shudring shaklida to'kilishi boshlanadi, ya'ni to'yingan havo holatiga o'tadi; ushbu harorat *shudring nuqtasi* yoki *to'yinish harorati*  $t_t$  deb ataladi. Yuzaviy turdagi sovitgichda nam havoni sovitish va quritishda ( $B_1C_1C_2$  chiziq) bug'larni kondensatsiyalanish jarayoni  $C_1C_2$  chiziq bo'yicha namlikni to'kilishi bilan kechadi.

$0^\circ\text{C}$  haroratga ega bo'lgan suvni bug'latishda, uni bug'latish uchun zarur bo'lgan issiqlik faqatgina tashqi havodan olinadi, havoning nam saqlamini asta-sekin ortishi va haroratini pasayishi sodir bo'ladi. Nam saqlamini ortishi bilan havoning entalpiyasi o'zgarmasdan qoladi.  $I - d$  – diagrammada

(14.3-rasm, a) ushbu jarayon  $I = \text{const}$  ( $B_1C_3$  chiziq) chizig'iga mos keladi va *adiabatik bug'lanish jarayoni* deb nomlanadi. Sovitish chegarasi nam termometrning *adiabatik harorati*  $t_a^n$  deb nomlanadi.

Agar IMA jarayonida harorati nol gradusdan yuqori yoki nam termometrning haroratiga teng bo'lgan suv ishtirok etsa, u holda suv o'zi bilan bir qancha miqdordagi issiqlikni  $\Delta$  olib kiradi. Hisoblashlarda ushbu issiqlik 1 kg namlikni bug'latish uchun zarur bo'lgan havo sarfiga  $l$  kiritiladi. Agar ushbu issiqlik miqdori inobatga olinma va bug'lanish jarayoni qurilsa, ushbu chiziq  $\tau$  chizig'i bo'ylab o'tadi (14.3-rasm, a) dagi  $B_1C_4$  uzlukli chiziq). Ushbu holatda  $t^n > t_a^n$ .

Adiabatik psixrometrik farq  $t_q - t_a^n$  tashqi issiqlik ta'siriga va qoim tezligiga bog'liq emas, u havoni namlikni yutish qobiliyatini xarakterlaydi va *quritish potentsiali*  $\varepsilon$  deb nomlanadi.

Havoning nisbiy namligini quruq va nam termometrlarning ko'rsatkichlari bo'yicha  $I - d$  – diagramma yordamida taxminiy aniqlash mumkin.

Havo namligini aniqlashda psixrometr ko'rsatkichi bo'yicha aniq natijalar olish mumkin.  $t_q$  va  $t^n$  bo'yicha aniq qiymatlarni psixrometrik jadval yoki formulalardan foydalanib topish mumkin, ularda namlikni bug'lanishiga ho'l simobli sharikni yuvib o'tuvchi havo tezligining ta'siri inobatga olinadi. Havoning tezligi qancha yuqori bo'lsa, jadval natijalari  $I - d$  – diagramma bo'yicha olingan natijalardan shuncha kam farq qiladi.

#### 14.4. Havoni aralashish jarayonlarining turli holatlarini I-d diagrammada tasvirlash.

Ko'p karrali sirkulyatsiya prinsipida ishlovchi ko'pgina havoni maromlash va quritish qurilmalarida turli holatdagi havoni aralashishida sodir bo'ladigan hodisalar katta qiziqish uyg'otadi, ularda ishlatib bo'lingan havoning bir qismi bir qancha miqdordagi toza havo bilan aralashadi va qaytadan qurilmaga uzatiladi.

Faraz qilamiz,  $I_1$  va  $d_1$  parametrlarga ega bo'lgan  $G_1$  miqdordagi toza havo (14.3-rasm, b) dagi A nuqta) va  $I_2$  va  $d_2$  parametrlarga ega bo'lgan  $G_2$  miqdordagi retsirkulyatsiyalanuvchi havo (B nuqta) aralashishi kerak, ya'ni  $\frac{G_2}{G_1} = n$  kg retsirkulyatsiyalanuvchi havo 1 kg toza havo bilan aralashishi kerak.

Tenglikni quyidagicha yozish mumkin:

$$I_1 + I_2 n = (1 + n) I_{ar} \quad (a)$$

$$d_1 + d_2 n = (1 + n) d_{ar} \quad (b)$$

bu yerda  $I_{ar}$  va  $d_{ar}$  – aralashmaning entalpiyasi va nam saqlami, 1 kg quruq havoga nisbatan.

(a) va (b) tengliklardan quyidagiga egamiz:

$$n(I_2 - I_{ar}) = I_{ar} - I_1 \quad (v)$$

$$n(d_2 - d_{ar}) = d_{ar} - d_1 \quad (g)$$

(v) ni (g) tenglikka bo'lamiz:

$$\frac{I_2 - I_{ar}}{d_2 - d_{ar}} = \frac{I_{ar} - I_1}{d_{ar} - d_1}$$

(g) tenglik va 14.3-rasm, b dan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$n = \frac{d_{ar} - d_1}{d_2 - d_{ar}} = \frac{AC}{CB}$$

(a) va (b) tengliklardan  $d_{ar}$  va  $I_{ar}$  kattaliklarini analitik holda aniqlash mumkin:

$$d_{ar} = \frac{d_1 + d_2 n}{1 + n} \quad (14.10)$$

$$I_{ar} = \frac{I_1 + I_2 n}{1 + n} \quad (14.10a)$$

$A_1B_1$  to'g'ri chiziq  $\varphi = 100\%$  egri chizig'ini kesib o'tgan hollarda aralashma holatini xarakterlovchi  $C_1$  nuqta to'yinish egri chizig'idan pastda joylashadi. Bu aralashish vaqtida suv bug'larining bir qismini kondensatsiyalanishini ko'rsatadi, ya'ni suv bug'larining bir qismi tomchili holatga o'tadi, ushbu holatda  $C_1$  nuqta nam havoni xarakterlamasdan, balki tarkibida tomchi holatdagi namligi bo'lgan bug' bilan to'yingan havoni xarakterlaydi.

Hech qanday xatoliklarsiz  $C_1$  nuqta  $I = \text{const}$  chizig'i bo'yicha  $C_2$  nuqtaga ko'chirilishi mumkin va  $C_2$  nuqta aralashmaning haqiqiy parametrlarini bildiradi, shuningdek tomchili namlik xuddi shu haroratga ega bo'ladi, uning entalpiyasi esa nam havoning entalpiyasidan juda kam farq qiladi.  $C_1$  va  $C_2$  nuqtalarga mos keluvchi nam saqlami farqlari havo tarkibidagi tomchili namlik miqdorini xarakterlaydi.

#### 14.5. Aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalarida IMA jarayonlari.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarining issiqlik balansini tuzishda namlikni bug'lanish va kondensatsiyalanish issiqligini inobatga olish zarur, shuningdek ushbu qurilmalarda suv haroratining o'zgarishi havo yordamida uzatilgan yoki olingan issiqlik miqdoriga proporsional emas, chunki ko'pgina hollarda ushbu issiqlikning bir qismi suvni qizdirish yoki sovitishga sarflanadi, qolgan qismi esa bug'latish yoki suv bug'larini kondensatsiyalashga sarflanadi.

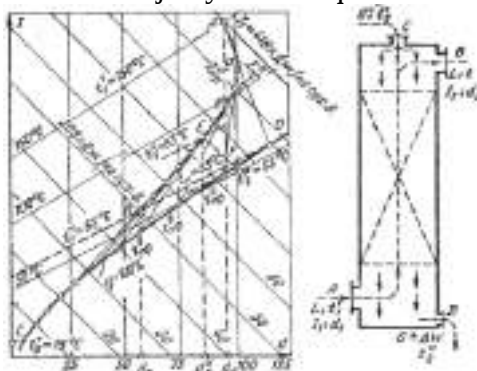
Atrof-muhitga issiqlik yo'qotilishini hisobga olmagan holda skrubber uchun issiqlik balansini tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$LI_1 + Gct'_2 = LI_2 + (G \pm \Delta W)ct''_2 \quad (14.11)$$

bu yerda  $L$  – havoning sarfi;  $I_1$  va  $I_2$  – skrubberga kirayotgan va undan chiqayotgan nam havoning entalpiyasi;  $G$  – skrubberga kiritilayotgan suv miqdori;  $c$  – suvning issiqlik sig'imi;  $t'_2$  va  $t''_2$  – skrubberga kirayotgan va undan chiqayotgan suvning harorati;  $\Delta W = x_2 - x_1$  – havodan kondensatsiyalangan namlik yoki suvdan bug'langan namlik miqdori.

Agar  $x_1 > x_2$  bo'lsa, u holda havoni quritish sodir bo'ladi va (14.11) tenglamdagi  $\Delta W$  qo'shish ishorasiga ega bo'ladi, agar  $x_1 < x_2$  bo'lsa, u holda havoni namlantirish sodir bo'ladi va  $\Delta W$  ayirish ishorasiga ega bo'ladi.

Skrubberlarni hisoblashning ko'pgina amaliy hisoblarida  $\Delta W$  qiymat  $G$  va  $L$  ga nisbatan ancha kichik bo'ladi va  $I - d$  - diagrammada IMA jarayonlarini qurishda inobatga olinmaydi.



14.4-rasm. Skrubberda havo va suv orasidagi IMA jarayonini  $I - d$  - diagrammadagi tasviri.

Jarayon pog'onalar bo'yicha quyidagi tartibda quriladi. Havoning boshlang'ich  $t'_1$  va  $I_1$  parametrlariga mos keluvchi  $A$  nuqta olinadi (14.4-rasm). Keyin  $\varphi = 100\%$  chizig'ida suvning boshlang'ich va oxirgi haroratlariga teng bo'lgan  $t'_2$  va  $t''_2$  izotermalarga mos keluvchi  $C$  va  $D$  nuqtalarning holati belgilanadi. Havoni suv bilan aralashish jarayonini boshlanishi  $I - d$  - diagrammada havoning holatini xarakterlovchi nuqtalarni  $\varphi = 100\%$  chizig'idagi suv haroratiga mos keluvchi nuqtalar bilan birlashtiruvchi to'g'ri chiziq sifatida tasvirlanadi. Keyin issiqlik tashuvchilarning harakat yo'nalishiga bog'liq holda teskari oqimda suvning  $t''_2$  haroratiga mos keluvchi  $A$  va  $D$  nuqtalar orasidan yoki to'g'ri oqimda suvning  $t'_1$  mos keluvchi  $C$  nuqta orqali to'g'ri chiziq o'tkaziladi. Keyin ushbu to'g'ri chiziqda  $A$  va  $D$  nuqtalar orasida entalpiyani o'zgarish chegarasida sodir bo'layotgan jarayon sharoitiga bog'liq holda boshlang'ich entalpiyadan  $I_1$  biroz kichik yoki katta qandaydir  $I_{or}^a$  qiymat qabul qilinadi.

Qabul qilingan  $I_{or}^a$  bo'yicha (14.11) issiqlik balansini tenglamasidan suvning oraliq harorati aniqlanadi (bunda  $\Delta W$  qiymat kattaligi inobatga olinadi). Masalan, issiqlik tashuvchilarning teskari oqim sharoiti uchun:

$$t_{tes}^a = t''_2 - \frac{L(I_1 - I_{tes}^a)}{Gc}$$

$$t_{tes}^b = t_{tes}^a - \frac{L(I_{tes}^a - I_{tes}^b)}{Gc}$$

$I_{tes}^a$  qiymatga mos keluvchi suvning oraliq harorati  $t_{tes}^a$  va  $\varphi = 100\%$  chizig'ida  $t_{tes}^a$  ga mos keluvchi nuqta aniqlangandan so'ng, ikkinchi to'g'ri chiziq o'tkaziladi, u orqali  $I_{tes}^b$  qiymat tanlanadi.

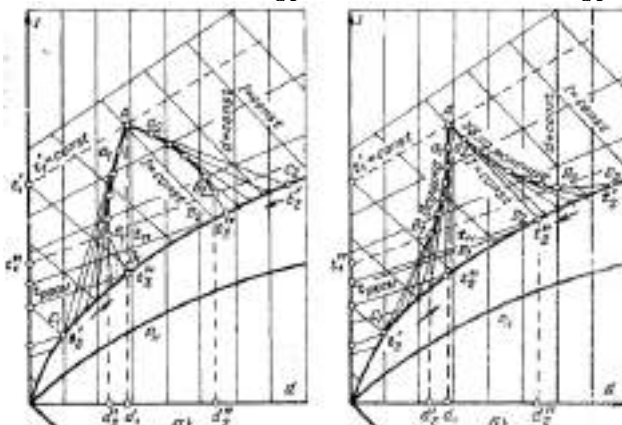
14.5-rasmda issiqlik tashuvchilarning to'g'ri va teskari oqim sharoitlarida IMA jarayonlarining  $I - d$  - diagrammadagi tasviri keltirilgan.

Birinchi pog'ona uchun hisoblash tenglamalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi:  
to'g'ri oqim uchun:

$$t_t^a = t_2' + \frac{L(I_1 - I_t^a)}{Gc}; t_t^b = t_t^a + \frac{L(I_t^a - I_t^b)}{Gc};$$

teskari oqim uchun:

$$t_{tes}^a = t_2'' - \frac{L(I_1 - I_{tes}^a)}{Gc}; t_{tes}^b = t_{tes}^a - \frac{L(I_{tes}^a - I_{tes}^b)}{Gc};$$



**14.5-rasm. Issiqlik tashuvchilarning to'g'ri (a) va teskari (b) oqimida skrubberda havo va suv o'rtasida IMA jarayoni.**

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarida o'rtacha haroratlar farqini aniqlash uchun quyidagi formula tavsiya etiladi:

$$\Delta t = \frac{1}{\sum \frac{b}{\Delta t_t}} \quad (14.12)$$

bu yerda  $b$  – havo haroratini pog'onalarda o'zgarishini havo haroratini aralashtiruvchi qurilmada umumiy o'zgarishiga nisbati;  $\Delta t_t$  – bitta pog'ona uchun issiqlik tashuvchilar haroratlarining farqi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalarini qo'llanilish sohasi?
2. Nasadkalar nima uchun qo'llaniladi?
3. Nasadkalarining qanday turlarini bilasiz?
4. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalarida qanday jarayon sodir bo'ladi?
5. Qanday turdagi aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalarini bilasiz?
6. Sachratqichlar nima uchun qo'llaniladi?
7. Sachratqichlarni qanday turlarini bilasiz?
8. Barbotajli qurilmalar qanday ishlaydi?
9. Ejektorli qurilmalar qanday ishlaydi?
10. Nasadkasiz ishlaydigan aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmasini ishlash prinsipigi tushuntiring.

## **15-MA'RUZA**

## **ARALASHTIRUVCHI IMA QURILMALARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

#### **Ma'ruza rejasi:**

- 15.1. Aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari.
- 15.2. Nasadkali kolonnalar.
- 15.3. Pog'onali (toqchali) qurilmalar.
- 15.4. Ichi bo'sh aralashtiruvchi IMA qurilmalari.
- 15.5. Oqimli qurilmalar.

#### **Mashg'ulotning maqsadi:**

Aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- nasadkali kolonnalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- pog'onali (toqchali) qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- ichi bo'sh aralashtiruvchi ima qurilmalari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- oqimli qurilmalar to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |
| <p><b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball: _____</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><b>O'qituvchi imzosi:</b> _____</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>Tayanch iboralar:</b> nam havo, diagramma, massa almashinuv, aralashtirgich, nasadka, forsunka, purkagich, sachratgich.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

### **15.1. Aralashtiruvchi issiqlik va massa almashinuv qurilmalarining konstruksiyalari.**

Sanoatda aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari keng qo'llaniladi, ularda issiqlik tashuvchilar o'rtasida issiqlik va massa almashinuvi issiqlik o'tkazuvchi devorsiz bevosita amalga oshiriladi. Ushbu qurilmalar qo'llanilish maqsadiga bog'liq holda farqlanadi.

Aralashtiruvchi turidagi issiqlik almashinuv qurilmalari quyidagi hollarda, ya'ni gazsimon va suyuq issiqlik tashuvchilar orasida issiqlik va massa almashinuvi jarayonida amalga oshirilganda qo'llaniladi. Ular bug'ni kondensatsiyalash, gazlarni suv bilan sovitish, suvni gaz bilan qizdirish, suvni havo bilan sovitish, gazlarni namlab tozalash va hokazolarda qo'llaniladi. So'nggi yillarda kimyo sanoatida ancha qiyin aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari keng tarqalgan: "suyuqlik-suyuqlik" turidagi issiqlik almashinuv qurilmalari, ular sovitish va ekstraksiyani birga amalga oshirish uchun mo'ljallangan, uch fazali tizimli aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari, masalan og'ir uglevodorodli tabiiy gazlardan yengil uglevodorodlarni absorbsiyalash uchun va hok.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarining issiqlik unumdorligi issiqlik tashuvchilarning to'qnashish yuzasidan aniqlanadi. Shuning uchun qurilma konstruksiyasida suyuqlik oqimini mayda tomchilarga, oqimchalarga, plenkalarga yoki gaz oqimini mayda pufakchalarga ajratish amalga oshiriladi. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarida issiqlikni uzatish nafaqat konduktiv issiqlik uzatish yo'li bilan balki, massa almashinuv usuli bilan issiq issiqlik tashuvchidan sovuq issiqlik tashuvchiga uzatiladi. Masalan sovuq suvni bug'latishda issiq gazdagi bug'lanish issiqligi suyuqlikdan gazga o'tadi.

Massa oqimi yo'nalishi bo'yicha aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini ikki guruhga bo'lish mumkin:

1. Gaz fazalaridan bug'ni kondensatsiyalash qurilmalari. Bunda gazlarni quritish va sovitish, suyuqliklarni qizdirish (kondensatorlar, maromlagichlar, skrubberlar) amalga oshiriladi.

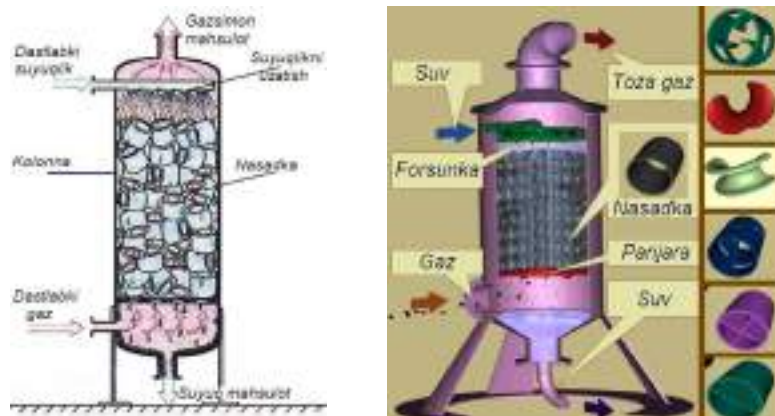
2. Gaz oqimida suyuqlikni bug'latuvchi qurilmalar. Bunda gazlarni namlantirish uni sovitish va suyuqliklarni qizdirish yoki sovitish (gradirnya, maromlagich, skrubberlar) amalga oshiriladi.

Suyuqliklarni ajratish prinsipi bo'yicha aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari nasadkali, kaskadli, tarelkali, barbotajli, bo'sh sachratuvchili va oqimli turlarga bo'linadi.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari konstruktiv jihatdan materiallardan kolonna shaklida tayyorlanadi va mos keluvchi ishchi bosimga hisoblanadi. Nasadkali va bo'sh qurilmalar temir betonli, g'ishtli yoki yog'ochli (gradirnya) qilib tayyorlanadi. Kaskadli, barbotajli va oqimli qurilmalar metaldan tayyorlanadi. Kolonna balandligi ularning ko'ndalang kesimidan bir necha marta ortadi. Qurilma kesimi aylana, to'g'ri burchakli yoki ko'p burchakli bo'lishi mumkin.

### **15.2. Nasadkali kolonnalar.**

Nasadkali kolonnada (15.1-rasm) suyuqlik taqsimlovchi qurilma 7 orqali qurilmaning yuqori qismiga uzatiladi. Taqsimlovchi qurilma sifatida jelob, plitalar, teshikchali quvurlar, sachratqichlar va tarelkali aylanuvchan satratqichlar qo'llaniladi. Fazalararo to'qnashuv yuzasini oshirish uchun tayanchli kolosnikli panjaraga 9 belgilangan tartibda Roshig yoki Pallya halqasidan, Berlya egari, po'latli shariklar, koks yoki kvars bo'lakchalari, yog'ochlar, po'lat lentadan tayyorlangan spirallar va plastmassalar, keramik bloklardan tayyorlangan nasadkalar 2 joylashtiriladi (15.2-rasm).



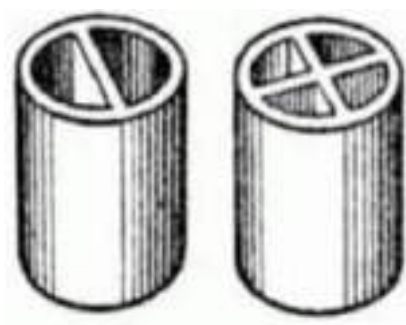
15.1-rasm. Nasadkali kolonna.



a)



b)



v)



g)



d)



ye)



j)



z)

15.2-rasm. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari uchun nasadkalarining bir nechta turlari:

a – Berlya o‘rindig‘i; b – Roshig halqasi; v – to‘siqli halqa; g – sharlar; d – propellerli nasadka; ye – Palla halqasi; j – Hy-Pak nasadka; z – Teller nasadka.

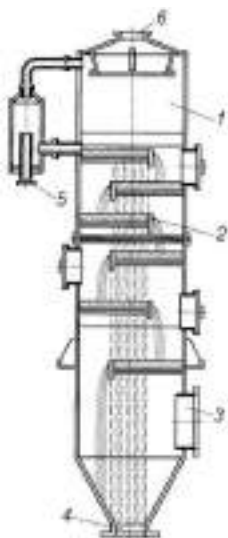
Panjaraning jonli kesimi nasadkadagi jonli kesimdan katta bo‘lishi kerak. Nasadka odatda 1 dan 3 *m* gacha bir nechta yaruslar bilan joylashtiriladi. Yaruslar orasida balandligi 300-500 *mm* bo‘lgan bo‘sh hajm qoldiriladi, ularda taqsimlovchi tarelka 8 o‘rnatiladi, tarelkalar nasadkani sug‘orish kesimi bo‘yicha bir bo‘lishini ta‘minlash uchun amalga oshiriladi, shuningdek, nasadkani pastga qarab sug‘orishda suyuqlik qurilma devori bilan aralashtiriladi.

Gaz va suyuqlikning teskari oqim sharoitida suyuqlik harakatida ishqalanish kuchi yuqoriga yo‘naladi, ya‘ni taranglik kuchiga tekskari yo‘naladi. Gazning tezligi ortishi bilan ushbu ishqalanish

kuchlari bir qancha ortadi, ya'ni ular taranglik kuchiga tenglashgunga qadar ortadi. Bunda suyuqlik nasadka bo'yicha sekin harakatlana boshlaydi. Nasadkaning bunday ish rejimi "osilib turish" rejimi deb ataladi: gaz suyuqlikka aralasha boshlaydi, fazalararo to'qnashuv yuzasi ortadi, massa almashinuv jarayoni esa jadallashadi. Gazning tezligi yanada ortganda gazning ishqalanish kuchi, suyuqlikning taranglik kuchidan ortadi va suyuqlik pastdan yuqoriga harakatlana boshlaydi.

### **15.3. Pog'onali (toqchali) qurilmalar.**

Kaskadli qurilmalar asosan aralashtiruvchi kondensatorlar sifatida keng qo'llaniladi (15.3-rasm). Ichi bo'sh vertikal silindrda yassi teshikchali toqchalar belgilangan masofada (350-550 mm) o'rnatiladi. Sovituvchi suyuqlik qurilmaga yuqori toqchadan kiritiladi. Suyuqlikning asosiy massasi teshiklar orqali toqchaga yupqa oqim holatida oqib tushadi, qolgan qismi to'siq ustidan pastda turgan toqchaga quyiladi. Kondensatsiyalash uchun yuborilayotgan bug' kondensatorning pastki qismidagi patrubka 3 orqali uzatiladi va qurilmada sovituvchi suyuqlikka nisbatan teskari harakatlanadi. Suyuqlik kondensat bilan qurilmaning pastki patrubkasidan 6 chiqariladi, havo esa yuqori patrubok orqali vakuum-nasos yordamida so'rib olinadi.



**15.3-rasm. Pog'onali (toqchali) qurilma:**

1-to'qnashish kamerasi; 2-segmentli toqchalar; 3-bug'ni kirishi; 4-suyuqlikni chiqishi; 5-sovituvchi suyuqlikni kirishi; 6-kondensatsiyalanmagan gazlarni so'rib olish.

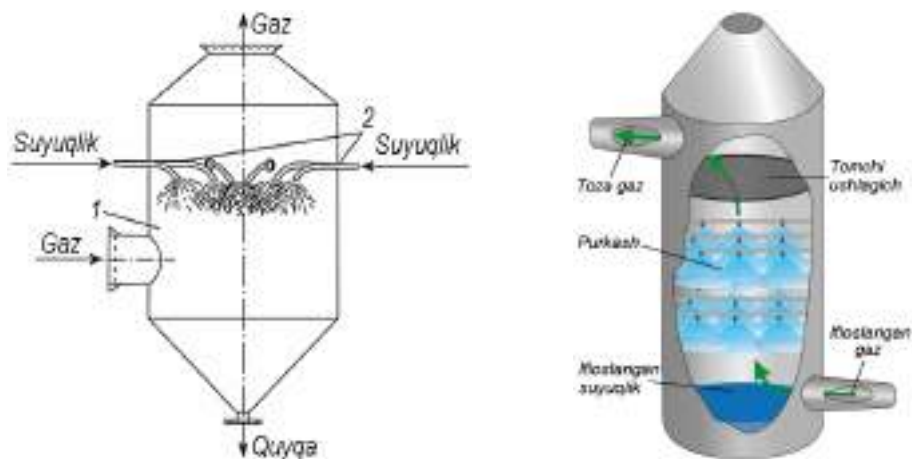
### **15.4. Ichi bo'sh aralashtiruvchi IMA qurilmalari.**

Gaz va suyuqlik bevosita to'qnashadigan qurilmalar (bir pog'onali kontaktli) sanoatda chiqib ketuvchi gazlarning haroratini pasaytirishda (ularning issiqligini utilizatsiyalashda), havo maromlash tizimlarida, gazlarni suyuq va qattiq dispers fazalardan tozalash uchun, eritmalarni bug'latish uchun va hokazolar uchun qo'llaniladi. Bunday qurilmalarda bir vaqtning o'zida issiqlik va massa almashinuvi va chang ushlash jarayonlari sodir bo'ladi.

Bunday qurilmalarga ichi bo'sh skrubberlar, nasadkali skrubberlar, barbotajli va tarelkali kolonnalar, sharli nasadkali qo'zg'aluvchan qatlamli skrubberlar, Venturi quvurlarini kiritish mumkin. Kontaktli qurilmalarning ajratilgan guruhining har biri juda kichik tasnifga ega. Masalan ichi bo'sh skrubberlar maqsadi bo'yicha sovitgich va namlantirgich-sovitgichlarga (bug'latuvchili) bo'linishi mumkin. Sug'oruvchi suyuqlik to'liq yoki qisman bug'lanadigan issiqlik almashinuv qurilmalari orasida eng ko'p tarqalgani ichi bo'sh skrubberlar hisoblanadi, ular dumaloq yoki to'g'ri kesimli kolonnadan iborat (15.4-rasm).

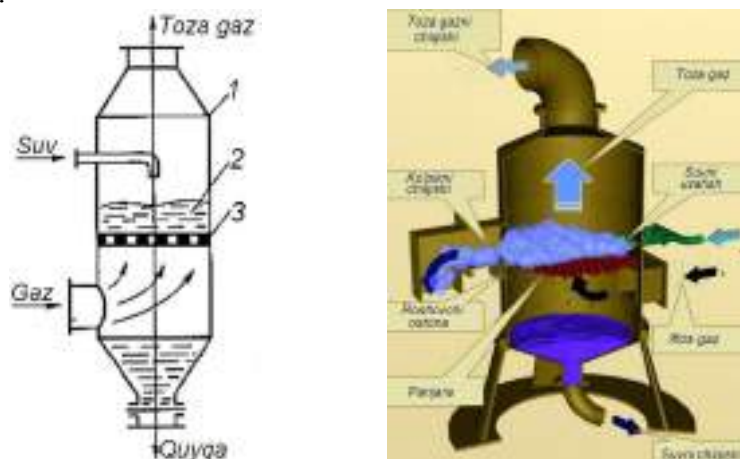
Sug'oruvchi suyuqlik yuqoridan uzatiladi va 0,3-0,4 MPa bosim ostida ishlovchi mexanik forsunka yordamida tomchilarga maydalanadi. Bunda purkash mash'alasi skrubberning butun ko'ndalang kesimini berkitishi kerak. Gaz oqimi 0,7-1,5 m/s tezlik bilan tomchilarga qarama-qarshi ravishda harakatlanadi.

Ichi bo'sh skrubberlarni qo'llanilishi konstruksiyasini soddaligi, parametrlarni rostdash diapazonini kengligi, ifloslangan sug'oruvchi suvda ham ishlash imkoniyatli, qayta ishlanayotgan gazning sarfini yuqoriligi bilan bog'liq.



**15.4-rasm. Ichi bo'sh skrubber: 1-korpus; 2-forsunkalar.**

Tarelkali skrubberlar (15.5-rasm) ham gazlarni tozalash uchun ishlatiladi. Ular barbotajli yoki ko'pikli rejimlarda ishlashi mumkin. Birinchi holda gaz suyuqlik qatlami orqali pufakchalar shaklida o'tadi, natijada suyuqlik yuzasida chang zarrachalarini cho'kishi sodir bo'ladi, ikkinchi holda skrubberli tarelkada ko'pik hosil bo'ladigan joy mavjud bo'lib gazlarni zarrachalardan tozalash ko'piklarni yuzasida sodir bo'ladi. Shuningdek ko'pikli rejimda fazalararo yuza barbotajli rejimga qaraganda katta bo'lib, ko'pikli rejimda ishlovchi qurilmalar ancha samarador va sanoatda barbotajli qurilmaga nisbatan juda keng qo'llaniladi.



**15.5-rasm. Ko'pikli tarelkali skrubber: 1-korpus; 2-ko'pik; 3-tarelka.**

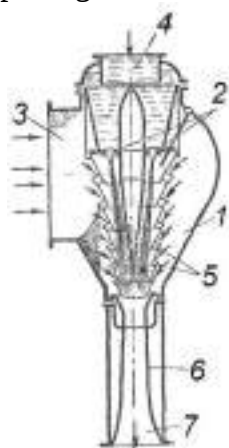
Yengil inert jisimli mavhum qaynash qatlamli skrubberlar (asosan polimer materiallardan tayyorlangan) mavhum qaynash rejimida ishlaydi (15.6-rasm). Qayta ishlanadigan gaz pastdan tayanchli-taqsimlash to'sig'i ostidan uzatiladi, tayanchli-taqsimlash to'sig'ida mayda zarrachali nasadka joylashtirilgan. Mayda zarrachali nasadka yuqorisidan chegaralovchi to'siq 3 bilan yopilgan, unga forsunka orqali sug'oruvchi suyuqlik purkaladi. Tomchilarni chiqib ketishini kamaytirish uchun qurilmasining yuqori qismida tomchi ushlagich o'rnatilgan.



**15.6-rasm. Mavhum qaynovchi nasadkali skrubber.**

### 15.5. Oqimli qurilmalar.

Oqimli aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalari bug'ni kondensatsiyalash yoki suvni bug' bilan qizdirish uchun qo'llaniladi. Ularda ishchi muhit sifatida suv xizmat qiladi, injeksiyalanuvchi bo'lib bug' xizmat qiladi, ushbu bug' kondensatsiyalanishi hisobiga suvni qizdiradi. Suv bir yoki bir nechta vertikal soplolarga uzatiladi (15.7-rasm).



15.7-rasm. Oqimli kondensator:

1-to'qnashuv kamerasi; 2-soplo; 3-gazning (bug') kirishi; 4-suyuqlikni kirishi; 5-taqismlovchi konuslar; 6-diffuzor; 7-suyuqlikni chiqishi.

Bug' yon tomondan uzatiladi va injeksiyalanish ta'sirida suv konuslar orasidagi halqali teshik orqali so'rib olinib kondensatorning markaziy sohasiga kiritiladi, u yerda kondensatsiyalanadi. Oqimning kinetik energiyasi ta'siri ostida sovutuvchi suv, kondensat va havo aralashmasi diffuzorda atmosfera bosimidan yuqori bosimgacha siqiladi, keyin suv qabul qilgichga chiqarib yuboriladi. Bug' va suyuqlikning turbulent oqimi bevosita to'qnashganda ular orasidagi issiqlik va massa almashinuvi jarayonining yuqori jadalligi yuzaviy issiqlik almashinuv qurilmalaridagi jarayon jadalligidan yuz marta yuqori bo'ladi, buning natijasida aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasining konstruksiyasi soddalashadi va ixcham aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasini yaratishga imkon bo'ladi.

#### Nazorat savollari.

1. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalarini qo'llanilish sohasi?
2. Nasadkalar nima uchun qo'llaniladi?
3. Nasadkalarining qanday turlarini bilasiz?
4. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalarida qanday jarayon sodir bo'ladi?
5. Qanday turdagi aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalarini bilasiz?
6. Sachratqichlar nima uchun qo'llaniladi?
7. Sachratqichlarni qanday turlarini bilasiz?
8. Barbotajli qurilmalar qanday ishlaydi?
9. Ejektorli qurilmalar qanday ishlaydi?
10. Nasadkasiz ishlaydigan aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmasini ishlash prinsipigi tushuntiring.

## 16-MA'RUZA

## ARALASHTIRUVCHI IMA QURILMASINI HISOBLASH.

### 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

#### Ma'ruza rejas:

- 16.1. IMA qurilmalarida issiqlik va massa almashinuvi.
- 16.2. IMA qurilmalarida issiqlik balansi.
- 16.3. Nasadkali va ichi bo'sh aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash.
- 16.4. Nasadkali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarining gidravlik rejimi va qarshiligi.

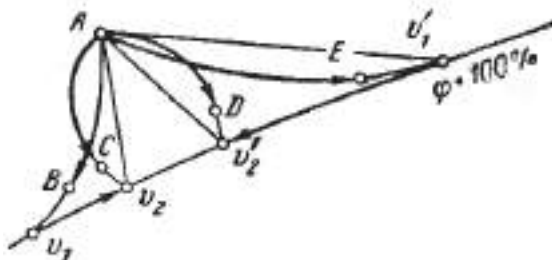
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>16.5. Pog'onali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                   |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Aralashtiruvchi IMA qurilmasini hisoblash to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IMA qurilmalarida issiqlik va massa almashinuvi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- IMA qurilmalarida issiqlik balansi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- nasadkali va ichi bo'sh aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- nasadkali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarining gidravlik rejimi va qarshiligi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- pog'onali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                                   |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                   |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                   |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                   |
| <b>Tayanch iboralar:</b> nam havo, diagramma, massa almashinuv, aralashtirgich, nasadka, forsunka, purkagich, sachratgich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                   |

### 16.1. IMA qurilmalarida issiqlik va massa almashinuvi.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarida yuzaviy qurilmalardan farqli ravishda suyuq va gazsimon issiqlik tashuvchilar orasida bevosita to'qnashuv amalga oshadi, ya'ni issiqlik almashinuv hisobiga ular orasida massa ham almashinadi.

Fazalar o'rtasida muvozanat bo'lmaganda tizimda moddani bir fazadan ikkinchi fazaga o'tishi sodir bo'ladi. Bu jarayon *massa almashinuvi*, *massa uzatish* yoki *massa o'tkazish* deb ataladi. Massa uzatish issiqlik uzatish kabi qiyin jarayon bo'lib, har bir faza chegarasida massa berish jarayonlaridan iborat bo'ladi. Massa uzatishning bir nechta modellari mavjud.

Tizimni muvozanatdan og'ishi massa uzatish jarayonini harakatga keltiruvchi kuchi hisoblanadi, masalan ushbu kuch kimyoviy potentsiallarni farqi hisobiga yoki fazaning asosiy hajmidagi moddaning konsentratsiyalari farqi hisobiga yoki fazalarni ajralish chegarasida hosil bo'ladi. Agar ushbu farqlar musbat bo'lsa, modda fazadan ajralish chegarasiga uzatiladi, agar manfiy bo'lsa-teskari yo'nalishga uzatiladi. Hisoblashlarda massa uzatish jarayonini harakatga keltiruvchi kuch sifatida fazalardan birining komponentning haqiqiy konsentratsiyasi va undagi o'sha komponentni muvozanatli konsentratsiyasi orasidagi farq qabul qilinadi. Agar suyuqlik yuzasidagi bug' bosimi gazdagi bug'larning partial bosimidan katta bo'lsa, suyuqlikni bug'lanishi va gazlarni namlanishi sodir bo'ladi; agar gazlardagi bug'larning partial bosimi suyuqlik yuzasidagi to'yingan bug'larning bosimidan katta bo'lsa gazdagi bug'larni kondensatsiyalanishi va gazlarni qurishi sodir bo'ladi.



#### 16.1-rasm. Gazlarni suyuqlik bilan to'qnashish jarayonini I-x diagrammada tasvirlanishi:

AB-teskari oqimda va suvning harorati nam termometrning haroratidan past bo'lganda; AC-parallel oqimda va suvning harorati nam termometrning haroratidan past bo'lganda; AD-parallel oqimda va suvning harorati nam termometrning haroratidan yuqori bo'lganda; AE-teskari oqimda va suvning harorati nam termometrning haroratidan yuqori bo'lganda.

Aralashtiruvchi qurilmada gaz bilan suyuqlikni to'qnashish holatida ketma-ket ikkita jarayon sodir bo'ladi: 1) harorat yuqori bo'lganda suyuqlikni bug'lanishi sodir bo'ladi; 2) keyin gazlarning

harorati pasayganda gazlardagi bug'larni kondensatsiyalanishi sodir bo'ladi. Shunday qilib, bug'larni kondensatsiyalanish issiqligi qiziyotgan suyuqlikka uzatiladi. Yuqorida keltirilgan jarayon suv-havoli sovitgichda qo'llaganda issiqlik va massa almashinuvi nam havo uchun 16.1-rasmda keltirilgan I-x diagrammada AB, AC, AD va AE egri chiziqlar kabi tasvirlanadi. Gaz va suyuqlik bevosita to'qnashgan jarayonda gazning harorati suyuqlik haroratiga juda yaqin bo'ladi, ya'ni bunday haroratni yuzaviy issiqlik almashinuvi qurilmasida olib bo'lmaydi. Buni quyidagicha ifodalash mumkin, ya'ni gaz va suyuqlik orasidagi termik qarshilik o'zgaruvchan, issiqlik va massa almashinuvi jarayonida ushbu harorat juda kichik qiymatgacha pasayishi mumkin. Shunda qilib, gaz-suyuqlik tizimi termodinamik muvozanatga juda yaqin bo'ladi, bunda issiqlik tashuvchilar haroratining farqlari va gazdagi va suyuqlik yuzasidagi partsial bosim farqi nolga teng bo'lishi kerak.

### 16.2. IMA qurilmalarida issiqlik balansi.

Nam gaz qurilmaga  $t'_g$  haroratda  $d_1$  boshlang'ich namlik miqdori bilan  $G(1 + d_1)$  miqdorda kiritiladi, bu yerda  $G$ -quruq gazning soatiy sarfi,  $kg/soat$ . Qurilmaga  $t'_s$  haroratda va  $W_b$  miqdorda kirayotgan suyuqlik bilan issiqlik va massa almashinuv natijasida gaz issiqlik almashinuv qurilmasini  $t''_g$  haroratda va gazning to'yinish holatiga mos keluvchi  $d_2$  oxirgi namlikda tark etadi va uning miqdori  $G(1 + d_2)$ .

Suyuqlik qurilmadan  $t''_s$  harorat bilan quyidagi miqdorda chiqib ketadi:

$$W_{ox} = W_b + G(d_1 - d_2) \quad (16.1)$$

Aralashtiruvchi qurilmada issiqlik nam gaz ( $GI_1$ ) va suyuqlik ( $W_b c_s t'_s$ ) bilan kiritiladi. Qurilmadan issiqlik chiqib ketuvchi gazlar bilan ( $GI_2$ ), qizdirilgan suyuqlik bilan ( $W_{ox} c_s t''_s$ ) va devor orqali atrof-muhitga ( $Q_5$ ) chiqariladi. Qurilmaning issiqlik balansini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$GI_1 + W_b c_s t'_s = GI_2 + W_{ox} c_s t''_s + Q_5 \quad (16.2)$$

bu yerda  $I_1 = c_{q.g} t'_g + d_1 i_1$ -nam gazni qurilmaga kirishdagi entalpiyasi,  $kkal/kg$ ;  $I_2 = c_{q.g} t''_g + d_2 i_2$ -nam gazlarni qurilmadan chiqishdagi entalpiyasi,  $kkal/kg$ ;  $c_{q.g}$ -quruq gazlarni solishtirma issiqlik sig'imi,  $kkal/(kg \cdot ^\circ C)$ ;  $c_s$ -suyuqlikni solishtirma issiqlik sig'imi,  $kkal/(kg \cdot ^\circ C)$ ;  $i_1$  va  $i_2$ -gazlarni issiqlik almashinuv qurilmasiga kirishdagi haroratida  $t'_s$  suyuqlik bug'larining entalpiyasi va gazlarni issiqlik almashinuvi qurilmasidan chiqishdagi haroratida  $t''_s$  suyuqlik bug'larining entalpiyasi.

Gazlar suv bilan sovitiladigan skrubberlarda solishtirma issiqlik sig'imi birga teng bo'ladi, qurilma yuzasi va atrof-muhit orasida haroratlar farqi kichik bo'lganda atrof-muhitga yo'qotilish esa juda kichik, issiqlik balansi quyidagi tenglama ko'rinishida ifodalanishi mumkin:

$$G(c_{q.g} t'_g + d_1 i_1) + W_b t'_s = G(c_{q.g} t''_g + d_2 i_2) + [W_b + G(d_1 - d_2)] t''_s \quad (16.3)$$

Qurilmaga uzatilayotgan suv miqdori quyidagi formula bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$W_b = \frac{G[c_{q.g}(t'_g - t''_g) + d_1(i_1 - t'_s) - d_2(i_2 - t''_s)]}{t''_s - t'_s} \quad (16.4)$$

Suvni qurilmadan chiqishdagi miqdorini quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$W_{ox} = \frac{G[c_{q.g}(t'_g - t''_g) + d_1(i_1 - t'_s) - d_2(i_2 - t''_s)]}{t''_s - t'_s} \quad (16.5)$$

Ma'lumki, skrubberdan chiqayotgan qizigan suvning harorati nam termometrning haroratidan yuqori bo'lmazligi kerak. Skrubberda suvni qizdirishning optimal harorati nam termometrning haroratidan bir qancha qiymatga past qabul qilinadi yoki G.K. Filonenko tavsiyasi bo'yicha quyidagi empirik formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$t_s = t_n \left( 1 - 0,1 \frac{W_b}{G} \right) \quad (16.6)$$

Gazning skrubberdan chiqishdagi harorati imkon darajasida past bo'lishi kerak. Teskari oqimli qurilmalarda  $t''_g$  nazariy jihatdan suvning kirishdagi haroratiga  $t'_s$  teng bo'ladi; to'g'ri oqimli qurilmalarda nazariy jihatdan  $t''_g = t'_s$  tenglikka erishiladi. Amalda issiqlik va massa almashinuvini harakatga keltiruvchi kuch nolgacha pasayib ketmasligi uchun gazlarni skrubberdan chiqishdagi haroratining qiymati anchagina yuqori qabul qilinadi. Ammo shuni ta'kidlash joizki,  $t''_g$  qiymat qancha kichik bo'lsa, qurilmadan gazlarni chiqib ketishi shuncha kam bo'ladi.

Gazdan qiziyotgan suvga uzatilayotgan issiqlik quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = W_b(t''_s - t'_s) + G(d_1 - d_2)t''_s = G(I_1 - I_2) \quad (16.7)$$

Ushbu tenglikning birinchi hadi-qiziyotgan suv qabul qilgan issiqlik; ikkinchi hadi-bug‘dan hosil bo‘lgan suyuqlikning issiqligi. Tenglamani birinchi qismi-gaz bilan yo‘qotilgan issiqlik. (16.7) tenglamani quyidagi ko‘rinishda qayta yozish mumkin:

$$Q = W_{ox}t_s'' - W_b t_s' = G(I_1 - I_2) \quad (16.8)$$

Quruq gaz massasi birligida issiqlikni solishtirma sarfi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$q = \frac{Q}{G} = \frac{W_{ox}t_s'' - W_b t_s'}{G} = I_1 - I_2 \quad (16.9)$$

Bir qancha o‘zgartirishlardan so‘ng quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$q = \frac{W_b}{G}(t_s'' - t_s') + (d_1 - d_2)t_s'' = I_1 - I_2 \quad (16.10)$$

Shunday qilib, aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasida gazlarning entalpiyasini o‘zgarishi ikkita kattalik bilan aniqlanar ekan: 1) suyuqlikdagi boshlang‘ich miqdordagi issiqlikni o‘zgarishi; 2) bug‘-gazli aralashmadan hosil bo‘lgan kondensat bilan kiritilgan qo‘shimcha issiqlik yoki bug‘lanish jarayonida suyuqlik gaz holatiga o‘tganda suyuqlikdan olib ketilgan issiqlik.

### 16.3. Nasadkali va ichi bo‘sh aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash.

Issiqlik hisobidan maqsad nasadkali qurilmalari uchun nasadka hajmini aniqlash va ichi bo‘sh qurilmalar uchun foydali balandlik va diametrni aniqlash hisoblanadi.

Gazdan suyuqlikka uzatilishi kerak bo‘lgan issiqlik quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$Q = k_F F_n \Delta t_{ort} = k_V V_n \Delta t_{ort} \quad (16.11)$$

bu yerda  $k_F$  – aralashtiruvchi qurilmada gaz va suyuqlik orasidagi issiqlik almashinuvining shartli ko‘effitsiyenti, nasadka yuzasi birligiga nisbatan;  $k_V$  – aralashtiruvchi qurilmada gaz va suyuqlik orasidagi issiqlik almashinuvining shartli ko‘effitsiyenti, nasadka hajmi birligiga yoki gaz va suyuqlik fazasi to‘qnashuvchi kameraning hajm birligiga nisbatan;  $F_n$  – nasadka yuzasi;  $V_n$  – ichi bo‘sh skrubberning hajmi yoki nasadka hajmi;  $\Delta t_{ort}$  – issiqlik tashuvchilar o‘rtasidagi o‘rtacha haroratlar farqi.

Issiqlik tashuvchilar o‘rtasidagi o‘rtacha haroratlar farqini aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasi sharoitida aniqlash juda qiyin. Bu qiymatni aniqlash uslubiyati asosida Lyuis munosabati yotadi:

$$\frac{\alpha}{\beta} = c = const \quad (16.12)$$

bu yerda  $\alpha$  – issiqlik berish ko‘effitsiyenti;  $\beta$  – massa berish ko‘effitsiyenti;  $c$  – bug‘-gaz aralashmasining issiqlik sig‘imi.

Issiqlik tashuvchilar o‘rtasidagi o‘rtacha haroratlar farqini aniqlashning eng sodda usuli sifatida haroratlarning o‘rtacha logarifmik farqini tavsiya etish mumkin.

Teskari oqimli aralashtiruvchi qurilmalar uchun:

$$\Delta t_{ort} = \frac{(t_g' - t_s'') - (t_g'' - t_s')}{\ln \frac{t_g' - t_s''}{t_g'' - t_s'}} \quad (16.13)$$

Teskari oqimli qurilma uchun:

$$\Delta t_{ort} = \frac{(t_g' - t_s') - (t_g'' - t_s'')}{\ln \frac{t_g' - t_s'}{t_g'' - t_s''}} \quad (16.14)$$

$k_F$  va  $k_V$  issiqlik almashinuv ko‘effitsiyentlarini hozirgi vaqtda analitik holatda aniqlashning iloji yo‘q. Ularning haqiqiy qiymatlari ko‘p omillardan aniqlanadi: nasadkaning namlanganlik darajasi, suyuqlikni parchalanganlik darajasi, issiqlik tashuvchilarning fizik parametrlari va hok. Aniq holatlar uchun  $k_F$  va  $k_V$  qiymatlar tajriba ma‘lumotlari bo‘yicha qabul qilinadi. Hozirgi kunda faqatgina tavsiyalar mavjud.

1944 yilda N.M. Javoronkov o‘tkazgan tajribalari asosida skrubberlarda issiqlik almashinuv ko‘effitsiyentlarini mezonli bog‘liqliklar yordamida hisoblash uslubini taklif etgan. Muallif Kirpichev mezonini taklif etgan:

$$Ki = \frac{k_F d_e}{\lambda} \quad (16.15)$$

bu yerda  $k_F$  – issiqlik almashinuv ko‘effitsiyenti;  $\lambda$  – gazning issiqlik o‘tkazuvchanlik ko‘effitsiyenti;  $d_e$  – nasadkaning ekvivalent diametri.

$Ki$  mezonini aniqlash, u orqali skrubberda yuzaviy ko‘effitsiyentni  $k_F$  aniqlash uchun Javoronkov quyidagi mezonli tenglamani tavsiya etgan:

$$Ki = 0,01Re_g^{0,7}Re_s^{0,7}Pr_g^{0,33} \quad (16.16)$$

(16.16) formula havoning namligi kichik bo'lganda havo va suv orasida kotaktli issiqlik almashinuvi uchun olingan. Shuning uchun barcha parametrlar quruq gaz uchun qabul qilinadi. Bu yerda  $Re_g = 4w_0/v_g f$  – gaz uchun Reynolds mezon;  $Re_s = Hd_e/3600v_s$  – suyuqlik uchun Reynolds mezon;  $Pr_g = v_g/a$  – gaz uchun Prandtl mezon;  $H = W_b/S$  – skrubberni sug'orish ko'effitsiyenti;  $W_b$  – skrubberga suyuqlik sarfi;  $d_e = 4v/f$  – nasadkaning ekvivalent diametri;  $S$  – skrubberning jonli kesim maydoni;  $v$  – nasadkaning erkin hajmi;  $f$  – nasadkaning hajm birligidagi yuzasi.

Nam gaz va suyuqlik orasidagi issiqlik va massa almashinuvini hisoblash uchun Javoronkov quyidagi formulani taklif etgan, unga suv bug'larining hajmiy ulushi  $\kappa_b$  kiritilgan:

$$Ki = 0,17Re_g^{0,7}Re_s^{0,7}Pr_g^{0,33}\kappa_b^{1,15} \quad (16.17)$$

To'qnashish kamerasiga kirayotgan 20°C haroratli suv uchun:

$$Ki = 0,081\sqrt{Re_g Re_s^3} \sqrt{Pr_g} \quad (16.18)$$

To'qnashish kamerasiga kirayotgan 70°C haroratli suv uchun:

$$Ki = 0,0335\sqrt{Re_g Re_s^3} \sqrt{Pr_g} \quad (16.19)$$

Nasadkali skrubberlarni hisoblashni B.A. Chertkov formulasi bo'yicha ham amalga oshirish mumkin:

$$k_F = 1,15 \cdot 10^{-6} \frac{\lambda_{q,g} (w_0 \gamma_{q,g})^{0,8} H^{0,7}}{f^{0,5} v^{0,3} \mu_{q,g}^{0,8} v_s^{0,7}} \quad (16.20)$$

bu yerda  $\lambda_{q,g}$ ,  $\gamma_{q,g}$ ,  $\mu_{q,g}$  – skrubberdagi gazning o'rtacha haroratida qabul qilingan issiqlik o'tkazuvchanlik, solishtirma og'irlik va dinamik qovushqoqlik ko'effitsiyentlari.

Issiqlik unumdorligini  $Q$ , o'rtacha haroratlar farqini  $\Delta t_{ort}$  va issiqlik almashinuv ko'effitsiyentlarini  $k_F$  yoki  $k_V$  aniqlagandan keyin ichi bo'sh aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasining hajmini yoki skrubberdagi nasadka hajmini quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$V_n = \frac{Q}{k_V \Delta t_{ort}} \quad (16.21)$$

Qurilmadagi nasadkaning yuzasi:

$$F_n = \frac{Q}{k_F \Delta t_{ort}} \quad (16.22)$$

#### 16.4. Nasadkali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarining gidravlik rejimi va qarshiligi.

Nasadkali qurilmalarda yaxshi IMa ga faqatgina nasadka bir tekis va yetarlicha sug'orilganda erishish mumkin. Yetarlicha sug'orilmaslik nasadkani to'liq namlinishini ta'minlamaydi, bu esa gaz-suyuqlik fazasining to'qnashish yuzasini kamayishiga olib keladi. N.N. Yegorov minimal sug'orish kattaligini quyidagi formula bo'yicha aniqlashni taklif etgan:

$$H_{min} = 0,12f \quad (16.23)$$

bu yerda  $f$  – hajm birligida nasadka yuzasi.

Agar jarayon sharti bo'yicha minmal sug'orish zichligini ta'minlash mumkin bo'lmasa, u holda suyuqlikning bir qismi tizimda retsirkulyatsiyalanish bilan ishlaydi, bu sug'orish zichligining yuqori chegarasi o'rnatilmaguncha davom etadi. Sug'orish zichligining yuqori chegarasi sifatida quyidagi kattalikni qabul qilish mumkin:

$$H_{min} \approx (4 \div 6) H_{min} \quad (16.24)$$

Gaz va bug'larning harakat tezligi belgilangan qiymatdan oshmasligi kerak. Gazning tezligini kritik tezlikdan oshishi nasadkani "to'lib qolishi"ga olib keladi.

Gazning to'lib qolishni boshlanishiga mos keluvchi optimal tezligini aniqlash uchun juda ko'p empirik bog'liqliklar mavjud. Ulardan bitta oddiy va yetarlicha ishonchlisi Javoronkov tenglamasi hisoblanib, u quyidagicha:

$$T = B_1(1 - B_2 A)^3 \quad (16.25)$$

Bunda

$$T = \frac{\Delta P}{g \rho_s H} = \frac{\xi a w_0^2 \rho_g}{8 g \varepsilon^3 \rho_s} = \frac{\xi}{2} Fr_g \frac{\rho}{\rho_s} \quad (16.26)$$

bu yerda  $\Delta P$  – nasadkaning gidravlik qarshiligi;  $\xi$  – qarshilik ko'effitsiyenti;  $H$  – nasadkaning balandligi;  $g$  – erkin tushish tezlanishi;  $a$  – nasadkaning solishtirma yuzasi;  $\rho_g$  va  $\rho_s$  – gaz va suyuqlikning zichligi;  $\varepsilon$  – nasadkaning erkin hajmi;  $w_0$  – kolonnaning barcha kesimi bo'yicha gazning tezligi;  $Fr_g = a w_0^2 / 4 g \varepsilon^3$  – gaz uchun Frud mezon;  $A = 3(u^2 a b / 2 g \varepsilon^3)^{1/3}$  – sug'orishning o'lchamsiz parametri,

bunda  $b = 1,748/Re_s^{0,8}$ ,  $Re_s = \frac{4w_s}{a\mu_s}$ ;  $u$  – sugʻorish zichligi;  $B_1$  va  $B_2$  – nasadkaning turi va oʻlchami, shuningdek  $A$  kattalikka bogʻliq oʻzgarmaslar.

Shuni taʼkidlash joizki, gaz tezligini hisoblashning ushbu usuli  $\xi$  kattalikni oldindan aniqlashni talab qiladi. Laminar oqim rejimida tartibsiz halqali nasadkalar uchun Javoronkov tenglamasi boʻyicha ( $Re_g < 40$ ) boʻlganda:

$$\xi = \frac{140}{Re_g} \quad (16.27a)$$

turbulent oqim rejimida ( $Re_g > 40$ ):

$$\xi = \frac{140}{Re_g^{0,2}} \quad (16.27b)$$

Gazni skrruber orqali oʻtkazish energiya sarfi bilan bogʻliq gazni haydash uchun sarflangan quvvatni aniqlash uchun traktning qarshiligini hisoblash zarur, u nasadkaning turiga va qurilmaning ishlashining gidrodinamik rejimiga bogʻliq. Nasadkali skrubberlar odatda turbulent rejimda ishlaydi, bunda gaz boʻlakli yoki Roshig halqasi orqali oʻtganda  $Re_g > 70$ .

Tartibsiz toʻkilgan halqa yoki boʻlaklardan iborat quruq nasadkalar uchun N.M. Javoronkov quyidagi formulalarni taklif etgan:

laminar rejim uchun ( $Re_g < 70$ ):

$$\Delta P_q = h \frac{200\gamma_g w_0^2 v}{g d_e^2 v} \quad (16.28)$$

turbulent rejim uchun ( $Re_g < 7000$ ):

$$\Delta P_q = h \frac{7,6\gamma_g w_0^{1,8} v^{0,2}}{g d_e^{1,2} v^{1,8}} \quad (16.29)$$

turbulent rejim uchun ( $Re_g > 7000$ ):

$$\Delta P_q = h \frac{1,3\gamma_g w_0^2 v}{g d_e^2 v} \quad (16.30)$$

bu yerda  $h$  – nasadkaning balandligi;  $v$  – gazning kinematik qovushqoqligi;  $v$  – nasadkaning erkin hajmi.

Xordali nasadka va tekis taxlangan halqalar uchun turbulent rejimda:

$$\Delta P_q = h \frac{2\gamma_g w_0^{1,625} v^{0,375}}{g d_e^{1,375} v^{1,625}} \left[ 0,78 + 17 \frac{v}{fz} \varphi_0^{-1,37} \right] \quad (16.31)$$

bu yerda  $z$  – nasadkaning 1 m balandlikdagi qatorlar soni yoki halqalar qatorining soni;  $\varphi_0$  – nasadkaning eng katta erkin kesimini eng kichigiga nisbati.

Xordali nasadka uchun:

$$\varphi_0 = \frac{a+b}{2}$$

Tekis taxlangan halfalar uchun:

$$\varphi_0 = \frac{d_t}{d_i}$$

bu yerda  $b$  – doskaning qalinligi (xordalar);  $a$  – doskalar orasidagi tirqish;  $d_t$  va  $d_i$  – halqaning tashqi va ichki diametrlari.

Oʻtish kesimini suyuqlik plyonkasi qatlami hisobiga kamayishi natijasida namlangan nasadkaning qarshiligi quruq nasadkaning qarshiligidan doimo katta boʻladi:

$$\Delta P_{nam} = \Psi \Delta P_q \quad (16.32)$$

Suv bilan sugʻorilganda  $\Psi$  koeffitsiyent quyidagi taxminiy tenglama orqali aniqlanishi mumkin:

$$\Psi = 1,2 + 0,04u \quad (16.33)$$

bu yerda  $u$  – sugʻorish zichligi.

Boshqa suyuqlik bilan sugʻorilganda yana  $v^{0,056}$  koʻpaytma kiritiladi, bu yerda  $v$  – suyuqlik nisbiy kinematik qovushqoqligi (suvning qovushqoqligiga nisbatan).

Gazni skrubber orqali oʻtazish uchun zarur boʻlgan quvvat  $N$  quyidagi formula boʻyicha aniqlanadi:

$$N = \frac{G \Delta p}{3600 \cdot 102 \gamma_2 \eta_k} \quad (16.34)$$

bu yerda  $G$  – gazning massaviy sarfi;  $\Delta p$  – skrubberning umumiy qarshiligi;  $\gamma_2$  – gazning solishtirma massasi;  $\eta_k$  – kompressorning FIK.

### 16.5. Pog'onali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash.

Pog'onali aralashtiruvchi issiqlik almashinuv qurilmalari asosan suv bug'i kondensatori sifatida qo'llaniladi. Pog'onali qurilmalarni hisoblashdan maqsad sovituvchi suvning sarfini, kondensatorning diametrini, pog'onalar sonini, so'rilayotgan havo miqdorini, barometrik quvurning balandligini va vakuum-nasosning quvvatini aniqlashdan iborat.

Sovituvchi suvning sarfini issiqlik balansi tenglamasidan osongina aniqlash mumkin:

$$W_b i_b + G t'_s = (W_b + G) t''_s \quad (16.35)$$

bundan

$$G = W_b \frac{i_b - t'_s}{t''_s - t'_s} \quad (16.36)$$

bu yerda  $G$  – sovituvchi suvning sarfi;  $W_b$  – kondensatsiyalanayotgan bug'ning sarfi;  $i_b$  – uzatilayotgan bug'ning entalpiyasi;  $t'_s$  va  $t''_s$  – sovituvchi suvning boshlang'ich va oxirgi harorati.

Barometrik kondensatordan chiqayotgan suvning harorati odatda bug'ning haroratidan 2-3°C ga kam bo'ladi, ya'ni  $t''_s = t_t - (2 \div 3)^\circ\text{C}$ .

Kondensatorning diametri  $d_k$  quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$d_k = \sqrt{\frac{4W_b}{\pi \cdot 3600 \gamma_b w_b}} = 0,0188 \sqrt{\frac{W_b}{\gamma_b w_b}} \quad (16.37)$$

bu yerda  $\gamma_b$  va  $w_b$  – bug'ning solishtirma massasi va tezligi.

Kondensatordagi bosim 0,1-0,2 at bo'lganda pog'ona band qilmagan kesimda bug'ning tezligi 10÷15 m/s va bug'li traktning ingichka joyida 20÷25 m/s qabul qilinadi. Pog'onalarining soni oqayotgan oqimning issiqlik balansini differensial tenglamasini yechish asosida aniqlanadi. Bug'dan silindrik yaxlit oqimga uzatilgan issiqlik miqdori quyidagiga teng:

$$dQ = \alpha(t_t - t_s)dF = 3600swc\gamma dt \quad (16.38)$$

bu yerda  $\alpha$  – bug'dan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti;  $t_t$  – to'yinish harorati;  $t_s$  – suvning o'zgaruvchan harorati;  $F$  – bug'ni suv bilan to'qnashish yuzasi;  $s$  – oqim kesimining maydoni;  $w$  – ko'rilayotgan kesimda suv oqimining tezligi;  $\gamma$  va  $c$  – suvning solishtirma massa va issiqlik sig'imi.

(16.38) tenglamaga o'rin almashtirishni amalga oshiramiz:

$$dF = \frac{\pi d_{oq}^2}{4} dH \quad (16.39)$$

Lyuiss munosabati bo'yicha massa almashinuv koeffitsiyentini kiritamiz:

$$\beta = \frac{\alpha}{c\gamma}$$

Tajriba natijalarini qayta ishlash asosida I.I. Chernobilskiy quyidagi mezonli tenglamani taklif etgan:

$$\ln \frac{t_t - t'_s}{t_t - t''_s} = 0,029 \left( \frac{g d_e}{w_0^2} \right)^{0,2} \left( \frac{H}{d_e} \right)^{0,7} \quad (16.40)$$

bu yerda  $w_0 = G/bh$  – oqimni oqib chiqishining boshlang'ich tezligi;  $d_e = \frac{2b\delta}{b+\delta}$  – yassi oqimning ekvivalent diametri;  $b$  – pog'onaning quyilish ostonasining kengligi;  $\delta$  – oqim qalinligi;  $h$  – pog'onadagi suv qatlami balandligi.

Qatlam balandligi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$h = \left( \frac{G}{0,42b\sqrt{2g}} \right)^{0,67} \quad (16.41)$$

Oqim qalinligi:

$$\delta = \frac{2G}{b(w_0 + \sqrt{w_0^2 + 2gH})} \quad (16.42)$$

Amaliy ma'lumotlar asosida pog'onali kondensatorlar uchun pog'onalar orasidagi masofa  $H = 0,5 \div 0,6$  m qabul qilinadi.

So'rilayotgan havoning miqdorini  $L$  aniqlash uchun hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$L = [0,25(G + W_p) + 100W_p] \cdot 10^{-4} \quad (16.43)$$

So'rilayotgan havoning harorati quyidagi empirik formula bo'yicha aniqlanadi:

$$t_h = t'_s + 4 + 0,1(t''_s - t'_s) \quad (16.42)$$

So'rilgan havoning hajmi:

$$V_h = \frac{29,27L(273+t_h)}{p_h} \quad (16.43)$$

bu yerda  $p_h = p_a - p_b$  – havoning parsial bosimi;  $p_a$  – kondensatordagi absolyut bosim;  $p_b$  – kondensatordagi bug‘ning parsial bosimi.

Barometrik quvurning diametri:

$$d_{b,q} = 0,0188 \sqrt{\frac{G+W_b}{w}} \quad (16.44)$$

bu yerda  $w = 0,5 \div 1 \text{ m/s}$  – suvning quvurdagi tezligi.

Barometrik quvurning balandligi:

$$H = 10,33 \frac{B}{760} + \frac{w^2}{2g} \left( 2,5 + \lambda \frac{H}{d_{b,q}} \right) + 0,5 \quad (16.45)$$

bu yerda  $B$  – kondensatordagi vakuum;  $\lambda$  – ishqalanish koeffitsiyenti; 2,5 va 0,5 – koeffitsiyentlar mahalliy qarshilikka yo‘qotilishni va kondensatordagi vakuumni tebranishini inobatga oladi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalarini qo‘llanilish sohasi?
2. Nasadkalar nima uchun qo‘llaniladi?
3. Nasadkalarining qanday turlarini bilasiz?
4. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmalarida qanday jarayon sodir bo‘ladi?
5. Qanday turdagi aralashtiruvchi issiqlik almashinish qurilmalarini bilasiz?
6. Sachratqichlar nima uchun qo‘llaniladi?
7. Sachratqichlarni qanday turlarini bilasiz?
8. Barbotajli qurilmalar qanday ishlaydi?
9. Ejektorli qurilmalar qanday ishlaydi?
10. Nasadkasiz ishlaydigan aralashtiruvchi issiqlik almashinuvi qurilmasini ishlash prinsipigini tushuntiring.

## **17-MA’RUZA**

## **MASSA ALMASHNUV JARAYONLARI.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo‘yicha reja – topshiriq va o‘quv-uslubiy hujjatlar.**

|                                                                                              |                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma’ruza rejası:</b>                                                                       |                                                                     |
| 17.1. Umumiy ma’lumot. Fazalar tarkibini ifodalash usullari.                                 |                                                                     |
| 17.2. Massa uzatishda muvozanat. Fazalar qoidasi.                                            |                                                                     |
| 17.3. Fazaviy muvozanat. Muvozanat chizig‘i.                                                 |                                                                     |
| 17.4. Moddiy balans. Ishchi chiziq.                                                          |                                                                     |
| 17.5. Massa uzatish yo‘nalishi.                                                              |                                                                     |
| <b>Mashg‘ulotning maqsadi:</b>                                                               | Massa almashnuv jarayonlari to‘g‘risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o‘quv faoliyati natijalari:</b>                                                |                                                                     |
| - fazalar tarkibini ifodalash usullari to‘g‘risida tushunchalar beriladi;                    |                                                                     |
| - massa uzatishda muvozanat to‘g‘risida tushunchalar beriladi;                               |                                                                     |
| - fazaviy muvozanat to‘g‘risida tushunchalar beriladi;                                       |                                                                     |
| - moddiy balans to‘g‘risida tushunchalar beriladi;                                           |                                                                     |
| - massa uzatish yo‘nalishi to‘g‘risida tushunchalar beriladi                                 |                                                                     |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og‘zaki nazorat: savol-javob                                          |                                                                     |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo‘yilgan ball:</b> _____                             |                                                                     |
| <b>O‘qituvchi imzosi:</b> _____                                                              |                                                                     |
| <b>Tayanch iboralar:</b> massa, faza, muvozanat, moddiy balans, ishchi chiziq, faza tarkibi. |                                                                     |

### 17.1. Umumiy ma'lumot. Fazalar tarkibini ifodalash usullari.

Energetika, kimyo va oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarish texnologiyasida modda almashinuv jarayonlari muhim o'rin tutadi. Bunday jarayonlar moddalarning bir fazadan ikkinchi fazashga o'tishiga asoslangan. Fazalar suyuq, qattiq, gaz va bug' holatida bo'lishi mumkin.

Sanoatda quyidagi modda almashinuv jarayonlari ishlatiladi:

**1. Absorbsiya.** Gaz aralashmasidan biror moddaning suyuq fazaga o'tishi *absorbsiyaa* deb ataladi. Yutuvchi suyuqlik *absorbent* deyiladi. Teskari jarayon, ya'ni yutilgan komponentlarning suyuqlikdan ajralib chiqishi *desorbsiya* deb ataladi.

**2. Suyuqliklarni ekstraksiyalash.** Biror suyuqlikda erigan moddani boshqa suyuqlik yordamida ajratib olish jarayoni *ekstraksiyalash* deb ataladi. Bunday jarayonda bir yoki bir nechta komponent bir suyuq fazadan ikkinchi suyuq fazaga o'tadi.

**3. Suyuqliklarni haydash.** Suyuq va bug' fazalar orasida komponentlarning o'zaro almashinishi yo'li bilan suyuqlik aralashmalarini ajratish jarayoni *haydash* deb ataladi. Bu jarayon issiqlik ta'sirida va ikki xil usulda olib boriladi: oddiy haydash (distilyatsiya) va murakkab haydash (rektifikatsiya).

**4. Adsorbsiya.** Gaz, bug' yoki suyuqlik aralashmalaridan bir xil yoki bir nechta komponentlarning g'ovaksimon qattiq moddaga yutilish jarayoni *adsorbsiya* deyiladi. Aktiv yuzaga ega bo'lgan qattiq materiallar *adsorbentlar* deb ataladi. Teskari jarayon, ya'ni desorbsiya adsorbsiyadan keyin olib boriladi va ko'pincha yutilgan komponentni adsorbentdan ajratib olish uchun (yoki adsorbentni regeneratsiya qilish uchun) xizmat qiladi.

Ion almashinish jarayoni adsorbsiyaning bir turi bo'lib, ayrim qattiq moddalar (ionitlar) o'zining harakatchan ionlarini elektrolit eritmalaridagi ionlarga almashtirish qobiliyatiga asoslangan.

**5. Quritish.** Qattiq materiallar tarkibidagi namlikni asosan bug'latish yo'li bilan ajratib chiqarish *quritish* deyiladi. Bu jarayon issiqlik va namlik tashuvchi agentlar (isitilgan havo, tutun gazlari) yordamida olib boriladi. Quritish jarayonida namlik qattiq fazadan gaz (yoki bug') fazaga o'tadi.

**6. Qattiq moddalarni eritish va ekstraklash.** Qattiq fazaning suyuqlikka (erituvchiga) o'tishi *eritish* deb ataladi. Qattiq g'ovaksimon materiallar tarkibidan bir yoki bir nechta komponentlarni erituvchi yordamida ajratib olish jarayoni *ekstraklash* deyiladi. Agar eritish jarayonida qattiq faza to'la suyuq fazaga o'tsa, ekstraklash vaqtida esa qattiq faza amaliy jihatdan o'zgarmay qoladi, faqat uning tarkibidagi tegishli komponent suyuq fazaga o'tadi.

**7. Kristallanish.** Suyuq eritmalar tarkibidagi qattiq fazani kristallar holatida ajratish jarayoni *kristallanish* deb ataladi. Bu jarayon eritmalarini o'ta to'yintirish yoki o'ta sovitish natijasida sodir bo'ladi. Kristallanish vaqtida massa suyuq fazadan qattiq fazaga o'tadi.

*Massa uzatish* murakkab jarayon bo'lib, bir yoki bir nechta komponentni bir fazadan ikkinchi fazaga fazalarni ajratuvchi yuza orqali o'tishidir. Massalarning bir faza ichida, fazadan ajratib turuvchi yuzaga yoki ajratib turuvchi yuzadan fazaga o'tishiga massa berish jarayoni deb ataladi. Massa berish jadalligi  $\beta$  koeffitsiyent orqali ifodalanadi. Massa uzatish jarayonining tezligi esa  $k$  koeffitsiyent bilan belgilanadi.

Fazalarni ajratuvchi yuza *qo'zg'aluvchan* va *qo'zg'almas* bo'ladi. Gaz-suyuqlik (absorbsiyaa), bug'-suyuqlik (haydash), suyuqlik-suyuqlik (ekstraksiyalash) tizimlarida boradigan massa almashinuv jarayonlaridagi fazalarni ajratuvchi yuza *qo'zg'aluvchan* bo'ladi. Qattiq faza ishtiroki bilan boradigan jarayonlarda (adsorbsiya, quritish, ekstraksiyalash, kristallanish) fazalarni ajratuvchi yuza *qo'zg'almas* bo'ladi.

Massa almashinuv jarayonlarining tezligi asosan molekulyar diffuziyaga bog'liq bo'lganligi uchun ko'pincha bunday jarayonlar *diffuziya* jarayonlari deb ham yuritiladi. Bir fazadan ikkinchi fazaga o'tayotgan massaning miqdori fazalarni ajratuvchi yuzaga va harakatlantiruvchi kuchga (konsentratsiyalarning o'rtacha farqiga) proporsional bo'ladi.

Fazalar tarkibi quyidagicha ifodalanishi mumkin: 1) hajmiy konsentratsiya bilan – bu miqdor berilgan moddaning (fazaning) hajm birligiga to'g'ri keladigan soni; 2) massa yoki mol ulushlar bilan – bu miqdor berilgan modda massasini butun faza massasiga nisbati orqali; 3) nisbiy konsentratsiyalar bilan – tarqaluvchi modda massasining modda almashinuv jarayonida o'zgarmay qoladigan tashuvchi inert komponent massasiga nisbati orqali belgilanadi.

**Massaviy va molyar ulush.**  $A, B, \dots, K, \dots, N$  komponentlardan tashkil topgan aralashma berilgan bo'lsin, ularning massaviy ulushi (yoki massaviy foizlari)  $\bar{x}_A, \bar{x}_B, \dots, \bar{x}_K, \dots, \bar{x}_N$  va molyar massalari  $M_A, M_B, \dots, M_K, \dots, M_N$  ga teng bo'ladi.

1 kg aralashmada joylashgan har qanday komponentning mollar soni, masalan  $K$  komponentniki  $\bar{x}_K/M_K$  tashkil etadi. Shunga muvofiq aralashmadagi ushbu komponentning tarkibi:

$$x_K = \frac{\bar{x}_K/M_K}{\frac{\bar{x}_A}{M_A} + \frac{\bar{x}_B}{M_B} + \dots + \frac{\bar{x}_K}{M_K} + \dots + \frac{\bar{x}_N}{M_N}} = \frac{\bar{x}_K/M_K}{\sum \frac{\bar{x}_K}{M}} \quad (17.1)$$

Teskari hisoblash uchun komponentlarning massaviy ulushini  $\bar{x}$  molyar ulush  $x$  orqali ifodalaymiz.

1 kmol aralashma tarkibidagi alohida komponentlarning massalari  $M_A x_A, M_B x_B, \dots, M_K x_K, \dots, M_N x_N$  tashkil etadi, 1 kmol aralashmaning umumiy massasi:

$$M_A x_A + M_B x_B + \dots + M_K x_K + \dots + M_N x_N = \sum M x$$

$K$  komponentning massaviy ulushi:

$$\bar{x}_K = \frac{M_K x_K}{\sum M x}$$

**Hajmiy konsentratsiya va massaviy ulush.** Aralashmadagi komponentlarning hajmiy konsentratsiyalarini  $c_A, c_B, \dots, c_K, \dots, c_N$  orqali belgilaymiz.  $c_A + c_B + \dots + c_K + \dots + c_N$  yig'indi  $1 \text{ m}^3$  hajmdagi aralashma massasini ifodalaydi. Shunga binoan har qanday komponentning massaviy ulushi uning hajmiy konsentratsiyasi  $c_K$  orqali quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$x_K = \frac{c_K}{\rho} \quad (17.2)$$

**Nisbiy konsentratsiya, massaviy va molyar ulushlar.** O'zaro ta'sirlashuvchi  $F_x$  va  $F_y$  fazalarda tarqaluvchi komponentning nisbiy massaviy konsentratsiyasi  $\bar{X}$  va  $\bar{Y}$  orqali ifodalansin, ya'ni bir kilogram tashuvchida joylashgan har bir fazaning miqdori, masalan agar ammiakni havoli aralashmasidan ammiak (tarqaluvchi komponent) suvga yutilsa, u holda ammiakning nisbiy konsentratsiyasi quyidagicha: suyuq fazada  $\bar{X} \text{ kg/kg } H_2O$ , gaz fazada  $\bar{Y} \text{ kg/kg havo}$ .

Tarqaluvchi komponent va 1 kg tashuvchidan tashkil topgan fazalarning umumiy massasini bunday ifodalashda konsentratsiya  $(1 + \bar{X}) \text{ kg}$  (suyuq faza) va  $(1 + \bar{Y}) \text{ kg}$  (gaz yoki bug' faza) ga teng bo'ladi.

Fazalarda tarqaluvchi komponentning massaviy konsentratsiyasi  $\bar{x}$  va  $\bar{y}$ :

$$\bar{x} = \frac{\bar{X}}{1 + \bar{X}}; \quad \bar{y} = \frac{\bar{Y}}{1 + \bar{Y}} \quad (17.3)$$

bundan

$$\bar{X} = \frac{\bar{x}}{1 - \bar{x}}; \quad \bar{Y} = \frac{\bar{y}}{1 - \bar{y}} \quad (17.4)$$

Ko'p komponentli aralashmalar uchun komponentlarning massaviy konsentratsiyasi quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$\bar{x} = \frac{\bar{X}}{1 + \sum \bar{X}}; \quad \bar{y} = \frac{\bar{Y}}{1 + \sum \bar{Y}} \quad (17.3a)$$

bu yerda  $\sum \bar{X}$  va  $\sum \bar{Y}$  – aralashmadagi barcha komponentlarning nisbiy massaviy konsentratsiyasi.

Tarqaluvchi komponentning konsentratsiyasini molyar ulushlarda ifodalash kerak bo'lgan hollarda uning nisbiy massaviy konsentratsiyasi quyidagi bog'liqlikdan aniqlanadi:

$$\bar{X} = \frac{M_x}{M_t(1-x)}; \quad \bar{Y} = \frac{M_y}{M_t(1-y)} \quad (17.4a)$$

bu yerda  $M$  va  $M_t$  – tarqaluvchi komponent va tashuvchining molyar massasi, kg.

## 17.2. Massa uzatishda muvozanat. Fazalar qoidasi.

Fazalar qoidasi. Bu qoida massa almashinuv jarayonlaridagi muvozanat qoidalarining asosini tashkil etadi. Fazalar qoidasi quyidagicha ifodalanadi:

$$F + S = K + 2 \quad (17.5)$$

bu yerda  $F$  – fazalar soni;  $S$  – erkinlik darajasi soni;  $K$  – tizimdagi komponentlar soni.

Fazalar qoidasi massa almashinuv jarayonlarining muvozanat holatlarini hisoblashda parametrlarning qanchasini o'zgartirish mumkinligini belgilab beradi. Bu qoidadan massa almashinuv jarayonlarining ikki xil turida ham foydalanish mumkin: 1) o'zaro ta'sir qiluvchi ikkala faza tarkibida tarqaluvchi moddadan tashqari inert komponent – tashuvchi bo'ladi (masalan absorbsiyaa, suyuqliklarni ekstraklash); 2) ikkala fazada ham inert komponent qatnashmaydi (rektifikatsiya).

Massa almashinuv jarayonining birinchi turiga misol: ikki fazali ( $F = 2$ ) va uch komponentli, ikkala faza bo'yicha tarqaluvchi massa va ikkala fazadagi tashuvchi inert komponentlardan iborat tizim uchta erkinlik darajasiga ega bo'ladi:

$$S = K + 2 - F = 3 + 2 - 2 = 3$$

Bunday ashroitda istalgan uchta parametrni, ya'ni umumiy bosim ( $P$ ), harorat ( $t$ ) va fazalardan birining tarqaluvchi massa bo'yicha konsentratsiyasi  $x_A$  yoki  $y_A$  ni o'zgartirish mumkin. Demak, berilgan harorat va bosim qiymatida ( $t = \text{const}$  va  $P = \text{const}$ ) bitta fazaning ayrim konsentratsiyasiga ikkinchi fazaning tegishli aniq konsentratsiya qiymati to'g'ri keladi.

Massa almashinuv jarayonining ikkinchi turiga misol: ikkita fazadan ( $F = 2$ ) va ikkita tarqaluvchi komponentdan ( $K = 2$ ) iborat tizim ikkita erkinlik darajasiga ega bo'ladi:

$$S = K + 2 - F = 2 + 2 - 2 = 2$$

Agar massa almashinuv jarayonlari odatda bir xil bosimda o'tkazilishi hisobga olinsa, u holda fazaning konsentratsiyasi o'zgarishi bilan harorat  $t$  o'zgaradi. Agarda bunday jarayon o'zgarmas haroratda ( $t = \text{const}$ ) olib borilsa, fazaning turli konsentratsiyalariga turli bosim qiymatlari to'g'ri keladi.

O'zgaruvchan parametrlar o'rtasidagi bog'liqliklar fazaviy diagramma yordamida ifodalanadi. Massa almashinuv jarayonlarini hisoblashda quyidagi diagrammalardan foydalaniladi:

- 1) bosimning konsentratsiyaga bog'liqligi ( $t = \text{const}$ );
- 2) haroratning konsentratsiyaga bog'liqligi ( $P = \text{const}$ );
- 3) fazalarning muvozanat konsentratsiyalari orasidagi bog'liqlik.

### 17.3. Fazaviy muvozanat. Muvozanat chizig'i.

Ammiak va havo aralashmasidan ammiakning toza suvga yutilishini ko'rib chiqamiz. Bu yutilish jarayoni absorbsiyaaga misol bo'ladi. Ammiak ikkala fazada ham tarqaluvchi komponent hisoblanadi. Ammiakning gaz fazasidagi  $F_y$  konsentratsiyasini, suyuq fazadagi  $F_x$  dastlabki konsentratsiyasini esa  $x = 0$  deb olamiz. Muvozanat o'rnatilmagan vaqtda gaz  $F_y$  fazadan  $F_x$  fazaga o'tadi. Ammiak suvda erishining boshlanishi bilan birga uning bir qism molekulasini teskari yo'nalishda gaz fazasi tomon harakat qiladi. Bu teskari yo'nalishning tezligi ammiakning suvdagi va fazalarni ajratuvchi yuzadagi konsentratsiyalariga bog'liq. Ma'lum vaqt o'tgandan so'ng ammiakning suvga o'tishi kamayadi, teskari yo'nalishning (ya'ni ammiakning qaytadan gaz fazasiga o'tishining) tezligi orta boradi. Bu hol ikkala yo'nalishdagi moddalarning o'tish tezligi bir xil bo'lguncha davom etadi. O'tish tezligi bir xil bo'lganda dinamik muvozanat sodir bo'ladi. Muvozanat paytida moddaning bir fazadan ikkinchi fazaga o'tishi sezilmaydi.

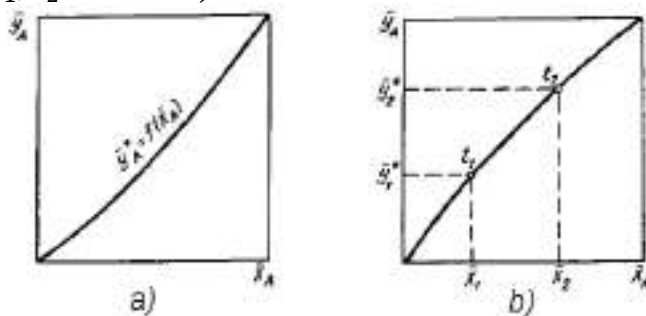
Muvozanat vaqtida  $\bar{x}$  ning ma'lum qiymatiga boshqa fazadagi tegishli aniq bir qiymatli muvozanat konsentratsiyasi  $\bar{y}^*$  to'g'ri keladi. Xuddi shuningdek,  $\bar{y}$  ning ma'lum qiymatiga tegishli muvozanat konsentratsiyasi  $\bar{x}^*$  to'g'ri keladi. Muvozanat vaqtida fazalardagi tarqaluvchi komponent konsentratsiyalari o'rtasida umumiy bog'liqlik quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{y}^* = f(\bar{x}) \quad (17.6)$$

yoki

$$\bar{x}^* = f(\bar{y}) \quad (17.7)$$

(17.6) va (17.7) tenglamalar grafikda muvozanat chizig'i bilan ifoda qilinadi va massa uzatish jarayonining turiga ko'ra har xil ko'rinishga ega bo'ladi. 17.1-rasmda muvozanat diagrammalari ko'rsatilgan. 17.1-rasm, a da gaz fazasidagi muvozanat konsentratsiyasining suyuq fazadagi konsentratsiya bilan bog'liqligi berilgan ( $t = \text{const}$  va  $P = \text{const}$ ). 17.1-rasm, b da esa rektifikatsiya jarayonining muvozanat chizig'i ko'rsatilgan ( $P = \text{const}$ ). Rasmda ko'rsatilgan har bir nuqta ma'lum haroratlarga mos keladi ( $t_1$ ,  $t_2$  va hokazo).



17.1-rasm. Muvozanat diagrammalari:

a-gaz fazasidagi muvozanat konsentratsiyasining suyuq fazadagi konsentratsiya bilan bog'liqligi; b- rektifikatsiya jarayonining muvozanat chizig'i.

Mumuvozanat vaqtidagi fazalar konsentratsiyalarining nisbati tarqalish koeffitsiyenti  $m$  deb yuritiladi:

$$m = \frac{\bar{y}^*}{\bar{x}} \quad (17.8)$$

Suyuq eritmalar uchun muvozanat chizig'i to'g'ri chiziqqa yaqin bo'ladi.  $m$  ning qiymati amaliy jihatdan o'zgarmas va muvozanat chizig'i yotiqqligi burchagining tangensiga teng.

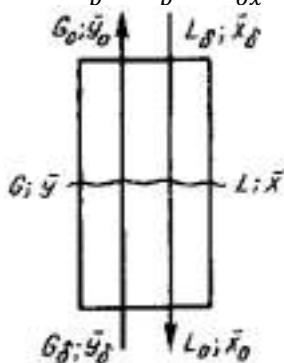
Aniq sharoitlar uchun muvozanat va ish chiziqlari yordamida qurilmaning istalgan nuqtasidagi jarayonning yo'nalishini, harakatlantiruvchi kuchni va ular asosida massa almashinuvining tezligini aniqlash mumkin.

#### 17.4. Moddiy balans. Ishchi chiziq.

Sanoatda ishlatilagan qurilmalarda ish konsentratsiyalarining qiymatlari hech vaqt muvozanat konsentratsiyalariga teng bo'lmaydi. Fazalarda tarqaluvchi komponent ish konsentratsiyalari orasidagi bog'liqlik  $\bar{y} = f(\bar{x})$  ni ifoda qiluvchi chiziq jarayonning *ishchi chizig'i* deb ataladi. Ishchi chiziqning ko'rinishi jarayonning moddiy balans asosida aniqlanadi. Fazalar qarama-qarshi yo'nalishda harakat qiladigan massa almashinuv qurilmasining sxemasini ko'rib chiqamiz (17.2-rasm). Bitta tarqaluvchi komponent (masalan, ammiak) gaz fazasidan suyuqlik fazasiga o'tadi deb faraz qilamiz. Qurilmaning pastki qismidan  $G_b$  (kg/s) miqdorli hamda  $\bar{y}_b$  konsentratsiyali gaz fazasi kiradi, bu faza  $G_{ox}$  (kg/s) miqdorda va oxirgi konsentratsiyasi  $\bar{y}_{ox}$  ga teng bo'lgan holda qurilmaning yuqori qismidan chiqariladi. Qurilmaning yuqori qismidan ikkinchi faza (suyuq faza) kiritiladi va bu faza qurilmaning pastki qismidan chiqariladi. Suyuqlik fazasining kirishdagi miqdorini  $L_b$  (kg/s) va uning konsentratsiyasini  $\bar{x}_b$  deb olsak, chiqishda esa bu miqdorlar  $L_{ox}$  (kg/s) va  $\bar{x}_{ox}$  bo'ladi. Odatda fazalarning konsentratsiyalari tarqaluvchi komponentning massaviy ulushlarida o'lchanadi.

Umumiy moddiy balans tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$G_b + L_b = G_{ox} + L_{ox} \quad (17.9)$$



#### 17.2-rasm. Moddiy balans tenglamasini aniqlashga doir.

Tarqaluvchi komponent bo'yicha moddiy balans:

$$G_b \bar{y}_b + L_b \bar{x}_b = G_{ox} \bar{y}_{ox} + L_{ox} \bar{x}_{ox} \quad (17.10)$$

Qurilmaning hohlagan bir kesimi uchun moddiy balans tenglamasini tuzamiz. Bu kesim uchun fazalar sarfini  $G$  va  $L$  (kg/s), ularning konsentratsiyalarini  $\bar{y}$  va  $\bar{x}$  bilan belgilaymiz. Bunda umumiy moddiy balans va tarqaluvchi komponent bo'yicha olingan modiy balans tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

$$G_b + L = G + L_{ox} \quad (17.11)$$

$$G_b \bar{y}_b + L \bar{x} = G \bar{y} + L_{ox} \bar{x}_{ox} \quad (17.12)$$

Oxirgi tenglamani  $y$  ga nisbatan yechib, quyidagi ifodaga erishamiz:

$$\bar{y} = \frac{L}{G} \bar{x} + \frac{G_b \bar{y}_b - L_{ox} \bar{x}_{ox}}{G} \quad (17.13)$$

(17.13) tenglama qurilmaning istalgan bir kesimi uchun fazalardagi tarqaluvchi komponent ish konsentratsiyalari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi va *ishchi chiziq tenglamasini* bildiradi.

Ayrim jarayonlarda (masalan, rektifikatsiya) fazalar sarfi o'zgarmas bo'ladi. Boshqa jarayonlarda esa qurilmaning balandligi bo'yicha fazalarning konsentratsiyalari juda kam o'zgaradi, shu sababli amaliy hisoblashlar uchun  $L = const$  va  $G = const$  va (17.13) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{L}{G} \bar{x} + \left( \bar{y}_b - \frac{L}{G} \bar{x}_{ox} \right) \\ \frac{L}{G} &= A \text{ va } \bar{y}_b - \frac{L}{G} \bar{x}_{ox} = B \end{aligned} \quad (17.14)$$

deb belgilab, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

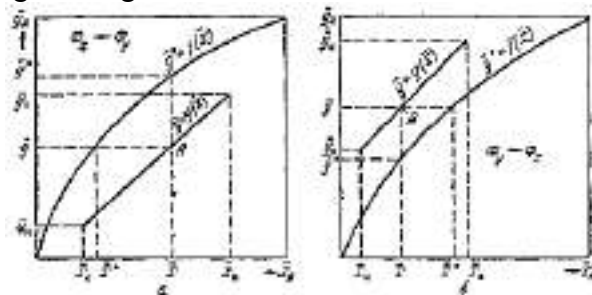
$$\bar{y} = A\bar{x} + B \quad (17.15)$$

(17.14) va (17.15) tenglamalar ishchi chiziq tenglamalarini ifodalaydi. Bu tenglamalardan odatda massa almashinuv qurilmalarini hisoblashda foydalaniladi.

Shunday qilib, ishchi chiziq to'g'ri chiziqdan iborat bo'lib, gorizontga ma'lum burchak ostida (qiya) joylashgan bo'ladi. Burchakning tangensi  $A$  ga teng. Ushbu to'g'ri chiziq ordinata o'qidan  $B$  ga teng bo'lgan qirqimni ajratadi. Ishchi chiziq  $\bar{x}_b$  va  $\bar{y}_{ox}$  (qurilmaning yuqori qismida) hamda  $\bar{y}_b$  va  $\bar{x}_{ox}$  (qurilmaning pastki qismida) koordinatalar bilan chegaralanib turadi.

### 17.5. Massa uzatish yo'nalishi.

Muvozanat va ishchi chiziqlarning  $\bar{y} - \bar{x}$  diagrammasidagi o'zaro joylashuviga ko'ra massa almashinuv jarayonining yo'nalishini aniqlash mumkin (17.3-rasm). Odatda tarqaluvchi komponent konsentratsiyasi muvozanat konsentratsiyasidan yuqori bo'lgan fazadan konsentratsiyasi muvozanat konsentratsiyasidan past bo'lgan fazaga o'tadi.



**17.3-rasm. Massa uzatish yo'nalishini  $\bar{y} - \bar{x}$  diagramma bo'yicha aniqlash:**

a – ishchi chiziq suvozanat chizig'idan pastda; b – ishchi chiziq muvozanat chizig'idan yuqorida.

Massa uzatish  $F_x$  va  $F_y$  fazalar o'rtasida sodir bo'lsin, ularning ishchi konsentratsiyalari mos ravishda  $\bar{x}$  va  $\bar{y}$ .

Agar ishchi chiziq muvozanat chizig'idan pastda joylashgan bo'lsa (17.3-rasm, a), u holda har qanday nuqta uchun, masalan ishchi chiziqdagi  $A$  nuqta uchun konsentratsiya  $\bar{y} < \bar{y}^*$  va  $\bar{x} > \bar{x}^*$ , bu yerda  $\bar{y}^*$  va  $\bar{x}^*$  - muvozanat konsentratsiyalar. Demak, tarqaluvchi modda (komponent) ushbu holda  $F_x$  fazadan  $F_y$  fazaga o'tadi. Bunday yo'nalishdagi uzatish, masalan rektifikatsiya jarayonida sodir bo'ladi, u yerda uchuvchan komponent suyuq fazadan ( $F_x$ ) bug' fazaga ( $F_y$ ) o'tadi.

Agar ishchi chiziq muvozanat chizig'idan yuqorida joylashgan bo'lsa (17.3-rasm, b), u holda ishchi chiziqdan ixtiyoriy tanlangan nuqta uchun konsentratsiya  $\bar{y} > \bar{y}^*$  va  $\bar{x} < \bar{x}^*$ . Bunda tarqaluvchi komponent  $F_y$  fazadan  $F_x$  fazaga o'tadi.

Massa uzatishning bunday yo'nalishiga misol tariqasida absorbsiyaa jarayonida uzatish yo'nalishini ko'rsatish mumkin, u yerda tarqaluvchi komponent (yutilayotgan) gaz fazadan ( $F_y$ ) suyuq fazaga ( $F_x$ ) o'tadi.

Shunday qilib,  $\bar{y} - \bar{x}$  diagrammada massa uzatish yo'nalishi muvozanat va ishchi chiziqlarning o'zaro joylashuv holati bo'yicha aniqlanadi.

### Nazorat savollari.

1. Massa almashinuv jarayonlarining sanoatdagi ahamiyati nimadan iborat? Bunday jarayonlar necha turga bo'linadi?
2. Fazalar tarkibi qanday usullar bilan ifoda qilinadi?
3. Fazalar qoidasining mazmuniga birorta misol asosida qanday tushuntirish mumkin?
4. Qarama-qarshi yo'nalishli massa almashinuv qurilmasi uchun moddiy balans tenglamasi qanday tuziladi?
5. Molekulyar diffuziya Fikning birinchi qonuni. Diffuziya koeffitsiyentining fizik mazmuni va o'lchov birligi.
6. Turbulen diffuziY. Bu jarayonning asosiy tenglamasi. Turbulent diffuziya koeffitsiyentining fizik mazmuni va o'lchov birligi.
7. Konvektiv diffuziY. Bu jarayonning asosiy tenglamasi. Massa berish koeffitsiyentining fizik mazmuni va o'lchov birliklari.
8. Harakatchan muhitdagi massa uzatilishining differensial tenglamasi.

9. Massa uzatish. Bu jarayonning asosiy tenglamasi. Massa uzatish koeffitsiyentining fizik mazmuni va o'lchov birliklari.

10. Massa berish va massa uzatish koeffitsiyentlarining umumiy va xususiy tomonlari nimalardan iborat?

## 18-MA'RUZA

## MASSA ALMASHINUV QURILMALARINING ASOSIY O'LCAMLARINI HISOBLASH.

### 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejası:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                        |
| 18.1. Qurilma diametri.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                        |
| 18.2. Qurilma balandligi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| 18.3. Pog'onalar sonini aniqlashning analitik usuli.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                        |
| 18.4. Pog'onalar sonini aniqlashning grafik usuli.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                        |
| 18.5. Nazariy pog'onalar (nazariy tarelkalar) sonini aniqlash.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                        |
| 18.6. Qattiq fazada massa uzatish.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                        |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Massa almashinuv qurilmalarining asosiy o'lcamlarini hisoblash to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- qurilma diametri to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- qurilma balandligi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- pog'onalar sonini aniqlashning analitik usuli to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- pog'onalar sonini aniqlashning grafik usuli to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- nazariy pog'onalar (nazariy tarelkalar) sonini aniqlash to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- qattiq fazada massa uzatish to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                                                        |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                        |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                        |
| <b>Tayanch iboralar:</b> qurilma diametri, qurilma balandligi, pog'ona, grafik usul, analitik usul, tarelka, qattiq faza, massa uzatish.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                        |

#### 18.1. Qurilma diametri.

Massa almashinuv qurilmalarining texnologik hisobida ularning asosiy o'lcamlari (diametr va ishchi balandligi) aniqlanadi.

Qurilmaning diametrini topish uchun sarf tenglamasidan foydalaniladi:

$$V_s = S\omega_0 \quad (18.1)$$

bu yerda  $V_s$  – tegishli fazaning hajmiy sarfi (masalan absorbsiya jarayonida gazning sarfi, rektifiatsiyada esa bug'ning sarfi va hok.);  $S$  – qurilmaning ko'ndalang kesim yuzasi;  $\omega_0$  – shu fazaning mavhum yoki keltirilgan tezligi (yoki tegishli fazaning qurilmaning to'la kesimiga nisbatan olingan tezligi).

Dumaloq ko'ndalang kesimli qurilmalarda  $S = \frac{\pi D^2}{4}$  bo'lganligi sababli:

$$V_s = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0 \quad (18.2)$$

Bundan

$$D = \sqrt{\frac{4V_s}{\pi\omega_0}} \quad (18.3)$$

Odatda  $V_s$  berilgan bo'ladi va qurilmaning diametrini topish uchun tegishli faza (masalan, gaz yoki bug') ning mavhum tezligini qabul qilish kerak. Tezlikni qabul qilishda quyidagi hol hisobga olinishi kerak: oqimning tezligi ortishi bilan massa uzatish koeffitsiyentining qiymati ortadi, biroq tezlik

ortishi bilan qurilmaning gidravlik qarshiligi ham ortadi (natijada jarayonni olib borish uchun zarur bo'lgan energiya sarfi ortadi). Shu sababli har bir aniq sharoit uchun texnik-iqtisodiy hisoblashlar orqali gaz yoki bug'ning optimal tezligi topiladi.

### 18.2. Qurilma balandligi.

Massa almashinuv qurilmasining balandligi fazalar kontakti uzluksiz yoki pog'onali bo'lishiga ko'ra ikki xil usulda aniqlanadi:

a) uzluksiz kontaktli qurilmalarning balandligi. Fazalar uzluksiz kontaktda bo'lgan qurilmalarning balandligi quyidagi massa uzatish tenglamalar orqali topiladi:

$$M = K_y a V \Delta y_{o'rt}$$

yoki

$$M = K_x a V \Delta x_{o'rt}$$

bu yerda  $F = aV$  – fazalar kontakt yuzasi;  $a$  – fazalarning solishtirma kontakt yuzasi;  $V$  – qurilmaning ishchi hajmi.

Qurilmaning ishchi hajmi:  $V = SH$  (bu yerda  $H$  – qurilmaning ishchi balandligi). Oxirgi tenglamalarda  $V$  ning o'rniga  $SH$  ni qo'yib, ularni  $H$  ga nisbatan yechsak, quyidagi ifodalarni olamiz:

$$H = \frac{M}{K_y a S \Delta y_{o'rt}} \quad (18.4)$$

yoki

$$H = \frac{M}{K_x a S \Delta x_{o'rt}} \quad (18.5)$$

(18.4) va (18.5) tenglamalar bo'yicha  $H$  ni hisoblash uchun alohida solishtirma kontakt yuzasi  $a$  va massa uzatishning sirtiy koeffitsiyenti  $K_y$  yoki  $K_x$  ning qiymatlari yohud shu kattaliklarning ko'paytmasidan iborat bo'lgan massa uzatishning hajmiy koeffitsiyenti  $K_y a = K_v$  yoki  $K_x a = K_v$  ni bilish zarur. Ayniqsa, fazalarning kontakt yuzasini aniqlash qiyin bo'lganda  $K_v$  ni topish maqsadga muvofiqdir.

Qurilmaning ishchi balandligi uzatish birligining soni va uzatish birligining balandligi ko'paytmasi bilan ham topilishi mumkin:

$$H = h_{0y} n_{0y} \quad (18.6)$$

$$H = h_{0x} n_{0x} \quad (18.7)$$

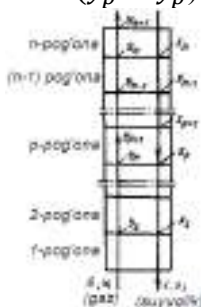
b) pog'onali kontakt qurilmalarning balandligi. Bunday qurilmalarning ishchi balandligi quyidagi tenglik orqali topiladi:

$$H = n_h h \quad (18.8)$$

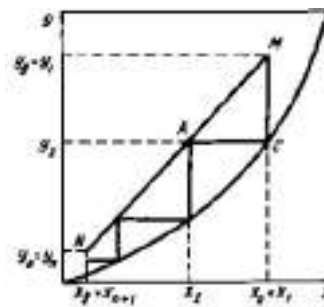
bu yerda  $n_h$  - qurilmadagi haqiqiy pog'onalar yoki tarelkalar soni;  $h$  - pog'onalar (tarelkalar) orasidagi masofa.

### 18.3. Pog'onalar sonini aniqlashning analitik usuli.

Misol tariqasida  $n$  pog'onali, qarama-qarshi yo'nalishli massa almashinuv qurilmasini ko'rib chiqamiz (18.1-rasm). Fazalar sarfi o'zgarmas ( $L = \text{const}$ ,  $G = \text{const}$ ), tarqaluvchi komponent  $F_y$  fazadan  $F_x$  fazaga o'tadi.  $F_y$  fazaning  $p$  – pog'onasiga kirishdagi konsentratsiyasi  $y_p$  bo'lsa, chiqishdagi konsentratsiyasi esa  $y_{p+1}$  bo'ladi. Bu fazaning ayni pog'onadagi konsentratsiyalarining o'zgarishi  $y_p - y_{p+1}$ .  $F_y$  fazaning boshqa faza  $p$  – pog'onasidagi  $x_p$  konsentratsiyasi bilan muvozanatdan bo'lgan konsentratsiyasini  $y_p^*$  bilan belgilaymiz. Bunda ushbu pog'onaga kirishdagi massa uzatishning harakatlantiruvchi kuchi ( $y_p - y_p^*$ ) ga teng bo'ladi.



18.1-rasm. Qarama-qarshi yo'nalgan  $n$  – pog'onali massa almashinuv qurilmasining sxemasi.



18.2-rasm. Nazariy pog'onalar sonini grafik usulda aniqlash.

Pog'onaning samaradorligi odatda berilgan fazaning pog'onadagi konsentratsiyalar o'zgarishini shu fazaning pog'onaga kirishdagi harakatlantiruvchi kuchiga nisbati bilan belgilanadi.  $E_y$  faza bo'yicha  $p$  – pog'ona uchun quyidagi nisbatni yozish mumkin:

$$E_y = \frac{y_p - y_{p+1}}{y_p - y_p^*} \quad (18.9)$$

bu yerda  $E_y$  – pog'onaning foydali ish koeffitsiyenti.

$y_p^* = mx_p$  bo'lganda (18.9) ifoda quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$E_y = \frac{y_p - y_{p+1}}{y_p - mx_p} \quad (18.10)$$

$E_y$  va  $\varphi$  orasidagi bog'liqlikni quyidagicha o'rnatish mumkin:  $L(x_p - x_{p+1}) = G(y_p - y_{p+1})$ , bundan  $x_p - x_{p+1} = \frac{G}{L}(y_p - y_{p+1})$ .

(18.10) ifodani o'zgartirib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} E &= \frac{y_p - y_{p+1}}{y_p - mx_p} = \frac{y_p - y_{p+1}}{(y_p - mx_{p+1}) - m(x_p - x_{p+1})} = \\ &= \frac{y_p - y_{p+1}}{(y_p - mx_{p+1}) - \frac{mG}{L}(y_p - y_{p+1})} = \frac{\varphi}{1 - \frac{1}{A}\varphi} \end{aligned} \quad (18.11)$$

Pog'onalar sonini aniqlash uchun (18.10) ifodadan foydalanamiz:

$$y_{p+1} = (1 - E_y)y_p + E_y mx_p \quad (18.12)$$

$p$  – pog'onadan pastda joylashgan qurilmaning qismlari uchun material balans tenglamasidan foydalanib  $x_p$  kattalikni aniqlaymiz:

$$G(y_1 - y_p) = -L(x_p - x_1)$$

bu yerda  $L - F_x$  faza sarfi ( $L$  oldidagi minus ishora fazalarning harakat yo'nalishini inobatga oladi).

Demak

$$x_p = x_1 \frac{G(y_1 - y_p)}{L} \quad (18.13)$$

$x_p$  ni (18.12) ifodaga qo'yamiz va  $\frac{L}{mG} = A$  inobatga olib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} y_{p+1} &= (1 - E_y)y_p + E_y m \left[ x_1 - \frac{G(y_1 - y_p)}{L} \right] = \\ &= E_y \left( mx_1 - \frac{y_1}{A} \right) + \left[ 1 + E_y \left( 1 - \frac{1}{A} \right) \right] y_p = a + by_p \end{aligned} \quad (18.14)$$

bu yerda

$$a = E_y \left( mx_1 - \frac{y_1}{A} \right) \text{ va } b = 1 + E_y \left( 1 - \frac{1}{A} \right)$$

(18.14) umumiy ifoda asosida har bir pog'onadan chiqayotgan fazalarning konsentratsiyasini hisoblaymiz, ikkinchi pog'onadan boshlaymiz:

ikkinchi pog'ona:

$$y_2 = a + by_1$$

uchinchi pog'ona:

$$y_3 = a + by_2 = a(1 + b) + b^2 y_1$$

to'rtinchi pog'ona:

$$y_4 = a + by_3 = a(1 + b + b^2) + b^3 y_1$$

$n$  – chi (oxirgi) pog'ona:

$$y_{n+1} = a + by_n = a(1 + b + b^2 + \dots + b^{n-1}) + b^n y_1 = \frac{a(1-b^n)}{1-b} + b^n y_1$$

Ushbu qurilma uchun chiqarish koeffitsiyentini  $\varphi$  aniqlaymiz:

$$\varphi = \frac{y_1 - y_{n+1}}{y_1 - mx_{n+1}} = \frac{y_1 - y_{n+1}}{y_1 - m \left[ x_1 - \frac{G(y_1 - y_{n+1})}{L} \right]}$$

$n$  – pog'ona uchun  $y_{n+1}$  qiymatni qo'ygandan so'ng:

$$\varphi = \frac{y_1 - \frac{a(1-b^n)}{1-b} - b^n y_1}{(y_1 - mx_1) + \frac{1}{A} \left[ y_1 - \frac{2(1-b^n)}{1-b} - b^n y_1 \right]}$$

Ushbu tenglamani juda sodda shaklga o'zgartirish mumkin:

$$\varphi = \frac{A(1-b^n)}{A-b^n} \quad (18.15)$$

Oxirgi tenglamani  $n$  ga nisbatan yechib haqiqiy pog'onalar sonini topamiz:

$$n = \frac{\lg \frac{A(1-\varphi)}{A-\varphi}}{\lg \left[ 1 - E_y \left( 1 - \frac{1}{A} \right) \right]} \quad (18.16)$$

Keltirilgan  $n$  ni aniqlashning analitik usulini faqatgina muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq ( $m = const$ ) yoki unga yaqin bo'lganda qo'llash mumkin.

Nazariy pog'ona uchun konsentratsiyani (nazariy tarelka) o'zgarishi (18.9) ifodaga muvofiq  $y_{p+1} = y_p^*$ . Demak, ushbu holatda  $E_y = 1$ . Ushbu qiymatni (18.16) tenglamaga qo'yamiz va nazariy pog'onalar sonini hisoblash tenglamasiga ega bo'lamiz:

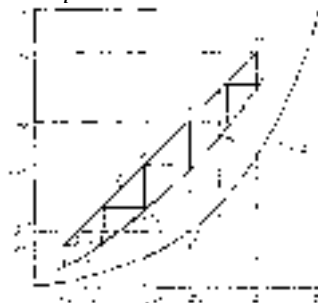
$$n_t = \frac{\lg \frac{A(1-\varphi)}{A-\varphi}}{\lg \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{A} \right) \right]} \quad (18.17)$$

$A = 1$  bo'lganda quyidagicha:

$$n_t = \frac{\varphi}{1-\varphi} \quad (18.18)$$

#### 18.4. Pog'onalar sonini aniqlashning grafik usuli.

Ushbu usul kinetik egri chiziqni qurishga asoslangan. Ushbu egri chiziqni qurishda  $y - x$  – diagrammada muvozanat va ishchi chiziq orasida ixtiyoriy vertikal kesmalar o'tkaziladi (masalan,  $\overline{A_1C_1}$ ,  $\overline{A_2C_2}$ ,  $\overline{A_3C_3}$ ,  $\overline{A_4C_4}$  kesmalar) (18.3-rasm). Ushbu kesmalar chiqarish koeffitsiyentiga  $E_y$  teng nisbatda bo'linadi,  $\overline{AB} = y_p - y_{p+1}$  va  $\overline{AC} = y_p - y_p^*$  kesmalar.



18.3-rasm. Pog'onalar sonini kinetik egri chiziqni qurish yo'li bilan aniqlash.

Demak, (18.9) ifodaga muvofiq

$$E_y = \frac{y_p - y_{p+1}}{y_p - y_p^*} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}}$$

Keyin  $E_y$  ning aniq qiymati bo'yicha  $\overline{AB}$  (18.3-rasmdagi  $\overline{A_1B_1}$ ,  $\overline{A_2B_2}$ ,  $\overline{A_3B_3}$ ,  $\overline{A_4B_4}$  kesmalar) kesma ajratiladi. Hosil qilingan  $B$  nuqta orqali  $DE$  kinetik egri chiziq o'tkaziladi. So'ngra  $M$  nuqtadan ( $x_{ox}$ ,  $y_b$  koordinatali)  $N$  nuqttagacha ( $x_b$ ,  $y_{ox}$ ) chegarada ishchi chiziq va kinetik egri chiziq orasiga "pog'onalar" chiziladi. Har bir pog'ona gorizontall kesmadan iborat bo'lib,  $F_x$  faza tarkibini o'zgarishini ifodalaydi, vertikal kesmalar esa  $F_y$  faza tarkibini o'zgarishini ifodalaydi. Masalan  $p$  – pog'ona uchun kesma  $\overline{BK} = x_p - x_{p+1}$  va  $\overline{AB} = y_p - y_{p+1}$ . Shunday qilib, ishchi chiziq va kinetik egri chiziq orasidagi "pog'onalar" soni haqiqiy pog'onalar yoki tarelkalar sonini aniqlaydi.

Kinetik egri chiziq usulidan foydalanish uchun  $E_y$  qiymatni bilish zarur. Odatda ketma-ket ulangan pog'onalaridan tashkil topgan massa almashinuv qurilmasi to'laligicha teskari oqim prinsipi bo'yicha ishlaydi.  $E_y$  kattalik esa fazalarning o'zaro harakat yo'nalishiga va har bir fazani pog'onada aralashish darajasiga bog'liq.

$E_y = 1$  bo'lganda kinetik egri chiziq muvozanat chizig'i bilan birlashadi, ishchi va muvozanat chizig'i orasida "pog'onalar"ni qurish yo'li bilan konsentratsiya o'zgarishining nazariy pog'onalar sonini aniqlash mumkin.

#### 18.5. Nazariy pog'onalar (nazariy tarelkalar) sonini aniqlash.

Pog'onalar haqiqiy sonini turli usullar (analitik hisoblash, kinetik egri chiziq usuli bilan, pog'onalar nazariy soni orqali va hokazo) bilan topish mumkin. Pog'onalar haqiqiy sonini pog'onalar nazariy soni orqali grafik usulda aniqlashni ko'rib chiqamiz. Bu usulda pog'onalar haqiqiy soni quyidagi nisbat orqali topiladi:

$$n_h = \frac{n_n}{\eta} \quad (18.19)$$

bu yerda  $n_n$  – pog'onalar nazariy soni;  $\eta$  – tarelkalar foydali ish koeffitsiyenti.

18.1-rasmda qurilmaning birinchi (pastki) pog'onasiga kirayotgan gazning tarkibi  $y_1$  bilan, qurilmadan chiqayotgan suyuqlik tarkibi esa  $x_1$  bilan belgilanadi. Bu holat 18.2-rasmdagi ishchi chizig'ining  $M$  nuqtasi bilan ifodalangan. Nazariy pog'onadan chiqayotgan gazning tarkibi  $y_2$  va undan tushayotgan suyuqlikning tarkibi  $x_1$  bir-biriga nisbatan muvozanat holatida bo'lib, muvozanat chizig'ida joylashgan  $c$  nuqta orqali ifodalangan. Shunday qilib, nazariy pog'onadagi gaz fazasining tarkibi vertikal kesma  $MC$  ga to'g'ri keladi.

Moddiy balansga ko'ra, ikkinchi pog'onadan tushayotgan suyuqlikning tarkibi  $x_2$  va birinchi pog'onadan chiqayotgan gazning tarkibi  $y_2$  ishchi chizig'ida joylashgan  $A$  nuqtaga to'g'ri keladi. Demak, gorizontall kesma  $AC$  nazariy pog'onadagi suyuq faza tarkibining o'zgarishini ifodalaydi.

Grafikdagi  $ACM$  pog'ona nazariy pog'onada yuz beradigan hamma jarayonlarni, ya'ni ikkala faza tarkiblarining o'zgarishini ifodalaydi. Pog'onalarni chizish yuqorigi (yoki oxirgi) nazariy pog'onadan chiqayotgan gazning tarkibiga mos kelgan ordinata chizig'i bilan kesishguncha davom ettiriladi. Ketma-ket bunday pog'onalarni tuzish yo'li bilan nazariy pog'onalar (yoki nazariy tarelkalar) ning soni  $n_n$  topiladi. Bunday usul bilan topilgan  $n_n$  ning qiymati butun son bo'lishi shart emas.

Foydali ish koeffitsiyenti  $\eta$  haqiqiy pog'onalar (yoki tarelkalar) dagi massa almashinuvining real kinetikasini hisobga oladi. Bu koeffitsiyentning qiymati fazalarning tezligiga, ularni aralashtirish, o'zaro harakat yo'nalishlariga, fazalarning fizik xossalari va boshqa kattaliklariga bog'liq. Odatda  $\eta$  ning qiymati keng chegarada ( $0,3 \div 0,8$  va undan katta) o'zgarishi mumkin va odatda tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

### 18.6. Qattiq fazada massa uzatish.

Kimyo va oziq-ovqat texnologiyasining ko'pchilik massa almashinuv jarayonlari (adsorbsiya, quritish, kristallanish, qattiq materiallarni eritish va ekstraksiyalash) qattiq faza-suyuqlik (bug' va gaz) tizimlarida boradi. Bunday jarayonlarning o'ziga xos xususiyatlari bor.

G'ovaksimom qattiq material va harakatlantiruvchi suyuqlik (gaz yoki bug') faza o'rtasidagi massa uzatish jarayoni ikki bosqichdan iborat: 1) tarqaluvchi moddaning qattiq jism g'ovaklari ichidan fazalarni ajratuvchi yuza tomon (yoki teskari yo'nalishda) ichki massa berish (yoki massa o'tkazuvchanlik) ta'sirida siljishi; 2) shu o'tgan massaning suyuqlik (gaz yoki bug') muhitida tashqi massa berish jarayoni yordamida tarqalishi. Boshqacha aytganda, qattiq fazali tizimlardagi massa uzatish jarayoni ichki va tashqi diffuziyalardan tashkil topgan.

Misol tariqasida tekis yuzali qattiq jismdan suyuqlik fazasiga moddaning bir o'lchamli oqim bilan o'tishini ko'rib chiqamiz (18.4-rasm).

Dastlabki vaqt momentida  $\tau_0$  qattiq jism konsentratsiyasi o'zgarmas bo'ladi ( $C_b = const$ ). Moddaning jism yuzasiga yaqin qatlamlardan suyuqlik fazaga o'tishi sababli qattiq jismda vaqt davomida o'zgarib turuvchi konsentratsiyalar gradiyenti  $\frac{dc}{dx}$  hosil bo'ladi. Vaqtning  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  momentlarida qattiq fazaning markazidagi konsentratsiyalar  $c_1, c_2, \dots, c_n$  ga teng bo'ladi. So'ngra tarqaluvchi modda chegara qatlam orqali suyuqlik fazasining markaziga o'tadi. Suyuqlikning chegara qatlamida konsentratsiyaning o'zgarishi to'g'ri chiziqli bo'yicha boradi, chunki bu yuqori qatlamda jarayonning tezligi asosan molekulyar diffuziyaga bog'liq. Suyuqlik fazasining markazida konsentratsiya asta-sekin kamayib, muvozanat konsentratsiyasi  $c^*$  ga yaqinlasha boradi. Bu yerda moddaning tarqalish tezligi asosan konvektiv diffuziyaga bog'liq.

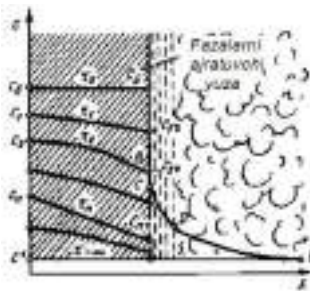
18.4-rasmda tarqaluvchi modda konsentratsiyasining o'zgarish epyuri ( $ABCDE$ ) ko'rsatilgan.  $\tau = \infty$  bo'lganda qattiq fazadagi konsentratsiya muvozanat konsentratsiyasi  $c^*$  gacha kamayadi. Qattiq jismdagi konsentratsiya fazada ham, vaqt davomida ham o'zgaradi:  $c = f(x)$ ;  $c = \varphi(\tau)$ . Shu sababli qattiq faza ichida moddaning massa o'tkazuvchanlik ta'sirida tarqalishi noturg'un jarayon bo'ladi.

Qattiq fazadagi massa o'tkazuvchanlik jarayoni molekulyar diffuziya uchun Fikning birinchi qonuni bilan ifodalanadi:

$$M = -D_m F \tau \frac{dc}{dx} \quad (18.20)$$

bu yerda  $D_m$  – massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.

Massa o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ichki diffuziya koeffitsiyenti bo'lib, harorat o'tkazuvchanlik yoki molekulyar diffuziya koeffitsiyentlari kabi  $m^2/s$  hisobida tajriba yo'li bilan topiladi.



**18.4-rasm. Qattiq fazali tizimlardagi massa uzatish jarayonining sxemasi.**

Issiqlik o'tkazuvchanlik differentsial tenglamasini chiqarish yo'liga asosan massa o'tkazuvchanlikning differentsial tenglamasini hosil qilish mumkin:

$$\frac{dc}{d\tau} = D_m \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (18.21)$$

Bu differentsial tenglama fazalarning kontakt chegarasida massa uzatish shartlarini belgilovchi tenglama bilan birgalikda ko'rilishi lozim. Bu shartlarni (18.20) tenglama massa berish tenglamasi bilan solishtirish orqali olish mumkin. Massa berish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$M = \beta F \tau (c_{ch} - c^*) = \beta F \tau \Delta c \quad (18.22)$$

bu yerda  $\beta$  – massa berish koeffitsiyenti;  $F$  – fazalarning kontakt yuzasi;  $c_{ch}$  – fazalar chegarasidagi konsentratsiya;  $c^*$  – muvozanat konsentratsiya;  $\Delta c$  – konsentratsiyalar ayirmasi;  $\tau$  – jarayonning davomiyligi.

(18.20) va (18.28) tenglamalarning o'ng tomonlarini bir-biriga tenglashtirib, quyidagi ifodani olamiz:

$$-D_m \frac{dc}{dx} = \beta \Delta c \quad (18.23)$$

Olingan differentsial tenglamaning o'ng tomonini chap tomoniga bo'lib va matematik operatorning belgilarini hisobga olmasdan, o'lchamsiz o'xshashlik mezonini hosil qilamiz:

$$\frac{\beta l}{D_m} = Bi' = idem \quad (18.24)$$

Bu o'xshashlik mezonini qattiq va suyuqlik (gaz yoki bug') fazalari chegarasida tarqaluvchi massa uzatish jarayonining o'zhashligini bildiradi va Bio diffuziya mezonini deb yuritiladi.

Bio mezonni tarkibiga tashqi va ichki diffuziya tezliklarni belgilovchi koeffitsiyentlar ( $\beta$  va  $D_m$ ) ning nisbati kiritilgan. Shu sababli bu mezon qattiq fazali tizimlarda boradigan massa almashinuv jarayonlarini o'zgarishda muhim ahamiyatga ega. Bio mezonining son qiymati kichik bo'lganda massa uzatish jarayonining tezligi tashqi diffuziyaning tezligi bilan belgilanadi. Bio mezonining qiymati katta bo'lsa, u holda massa uzatish tezligi ichki diffuziyaning tezligi orqali ifodalanadi.

Qattiq fazaning markazida massa uzatish jarayonining o'xshashligini ifodalash uchun massa o'tkazuvchanlikning differentsial tenglamasi (18.21) ni yuqoridagi kabi, o'zhashlik nazariyasi usullari bilan qayta ishlab quyidagi ifodani olamiz:

$$\frac{D_m \tau}{l^2} = Fo' = idem \quad (18.25)$$

Bu kattaliklarning o'lchamsiz kompleksi Furiyning diffuziya mezonini deb ataladi. Furiy mezonini qattiq faza ichida moddaning modda o'tkazuvchanlik yo'li bilan o'tish tezligi o'xshashligini ifodalaydi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Massa almashinuv jarayonlarining qanday nazariy modellari taklif qilingan?
2. Diffuzion o'xshashlik mezonlarining fizik mazmunlarini qanday tushuntirish mumkin?
3. Massa berish jarayonlarini umumiy holatda qanday mezonli tenglamalar orqali ifoda qilish mumkin?
4. Massa uzatishning harakatlantiruvchi kuchini qaysi tenglamalar orqali aniqlash mumkin?
5. Uzatish birligining soni va uning balandligini o'rtasida qanda bog'liqlik mavjud? Ushbu kattaliklar qaysi tenglamalar yordamida aniqlanadi?
6. Qattiq fazali tizimlarda massa uzatish jarayoni qanday boradi. Bir o'lchamli oqim uchun massa uzatishning umumiy tenglamasi qanday ko'rinishga ega?
7. Massa uzatish jarayonlarini qanday usullar bilan tezlatish mumkin?
8. Massa almashinuv qurilmalarining asosiy o'lchamlariga nimalar kiradi va ularni qaysi usullar bilan aniqlash mumkin?

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejası:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                |
| 19.1. Absorbsiya jarayonlari to'g'risida ma'lumot.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
| 19.2. Absorbsiyada muvozanat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                |
| 19.3. Absorbent bug'ining bosimini muvozanatga ta'siri.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                |
| 19.4. Moddiy balans va absorbent sarfi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                |
| 19.5. Issiqlik balansi va absorbent harorati.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                |
| 19.6. Fizik absorbsiya tezligi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Absorbsiya jarayonlari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- absorbsiya jarayonlari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- absorbsiyada muvozanat to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- absorbent bug'ining bosimini muvozanatga ta'siri to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- moddiy balans va absorbent sarfi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- issiqlik balansi va absorbent harorati to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- fizik absorbsiya tezligi to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                |
| <b>Tayanch iboralar:</b> absorbsiya, absorbent, fizik absorbsiya, xemosorbsiya, moddiy balans, issiqlik balansi, absorbent sarfi, absorbsiya tezligi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                |

**19.1. Absorbsiya jarayonlari to'g'risida ma'lumot.**

Gaz hamda bug'-gaz aralashmalaridagi bir yoki bir necha komponentlarning suyuqlikda tanlab yutilish jarayoni *absorbsiya* deb ataladi. Yutilayotgan gaz absorbtiv, yutuvchi suyuqlik absorbent deyiladi. Absorbtiv bilan absorbentning o'zaro ta'siriga ko'ra absorbsiya jarayoni ikki xil bo'ladi: *fizik absorbsiya* va *kimyoviy absorbsiya* (xemosorbsiya). Fizik absorbsiyada yutilayotgan gaz bilan absorbent o'zaro bir-biri bilan kimyoviy birikmaydi. Agar yutilayotgan gaz absorbent bilan o'zaro birikib, kimyoviy birikma hosil qilsa, xemosorbsiya deyiladi. Fizik absorbsiya ko'pincha qaytar jarayondir, ya'ni suyuqlikka yutilgan gazni ajratib olish mumkin bo'ladi, bu hol *desorbsiya* deyiladi. Absorbsiya bilan desorbsiya jarayonlarini uzluksiz olib borish natijasida yutilgan gazni toza holda ajratib olish va yutuvchi absorbentni bir necha marta qayta ishlatish imkoni tug'iladi. Absorbtiv va absorbent arzon va ikkilamchi mahsulot bo'lgani uchun, ular absorbsiya jarayonidan keyin ko'pincha qayta ishlatilmaydi.

Sanoatda absorbsiya jarayoni turli maqsadlarda qo'llaniladi: 1) gaz aralashmalaridan qimmatbaho komponentlarni (masalan, krekinglangan gazlardan yoki metan pirolizidan atsetilenni; koks gazi aralashmalaridan ammiak, benzolni; neftni qayta ishlash natijasida hosil bo'lgan gaz aralashmalaridan har xil uglevodorod va shu kabilarni) ajratib olishda; 2) komponentlarni har xil zaharli moddalardan tozalash uchun (mineral o'g'itlarni olishda hosil bo'lgan gaz aralashmalarini ftor birikmalaridan, ammiak sintez qilganda azot-vodorod aralashmalarini  $CO$  va  $CO_2$  oksidlardan tozalashda); 3) tayyor mahsulotlar (masalan, xlorid va sulfat kislotalari, ammiakli suv) olishda va hokazo.

Har bir aniq sharoit uchun tegishli absorbent tanlab olinadi. Bunda yutilishi lozim bo'lgan komponentning absorbentdagi eruvchanligi hisobga olinadi.

Tajriba yo‘li bilan aniqlanganligi, absorbsiya jarayonida har doim issiqlikning ajralib chiqishi yuz beradi.

Gazlarning suyuq holatdagi absorbentlardagi eruvchanligi quyidagi omillarga bog‘liq bo‘ladi; 1) gaz va suyuq fazalarning fizikaviy va kimyoviy xossalari; 2) harorat; 3) gazning aralashmadagi bosimi.

### 19.2. Absorbsiyada muvozanat.

Absorbsiya jarayonida suyuqlik tarkibidagi gazning miqdori suyuqlik va gazning xususiyatiga, bosim, harorat va gaz fazasining tarkibiga bog‘liq. Suyuqlik bilan biror gaz aralashmasining o‘zaro ta’siri natijasida taqsimlanuvchi komponent *A* tashuvchi komponent *B* yordamida suyuqlikda erigan bo‘lsa, fazalar qoidasiga muvofiq komponentlarning soni va erkinlik darajasi uchga teng bo‘ladi. Demak, gaz-suyuqlik tizimida ikkila fazaning harorati, bosimi va konsentratsiyasi o‘zgarishi mumkin. Shuning uchun o‘zgarmas harorat va umumiy bosimda muvozanat holatdagi gazning parsial bosimi (yoki uning konsentratsiyasi) bilan suyuq faza tarkibining o‘zaro bog‘lanishi bir xil bo‘ladi. Bu bog‘lanish Genri qonuni bilan ifodalanib, erigan gazning parsial bosimi eritmadagi uning mol qismiga proporsionaldir:

$$p_A^* = E x_A \quad (19.1)$$

Suyuqlikdagi gazning eruvchanligi (yutilgan komponenti *A*) ma’lum haroratda uning suyuqlik yuzasidagi parsial bosimiga proporsionaldir:

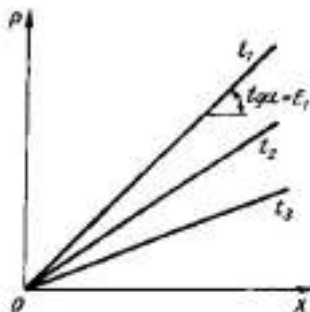
$$x_A^* = \frac{1}{E} p_A \quad (19.2)$$

bu yerda  $p_A^*$  - muvozanat holatidagi eritmada konsentratsiyasi  $x_A$  bo‘lgan yutilayotgan gazning parsial bosimi;  $x_A^*$  - eritmadagi gazning konsentratsiyasi (mol hisobida), bu gaz bilan suyuqlik fazalari muvozanatlashganda yutilayotgan komponentning parsial bosimi  $p_A$  ga teng; *E* – proporsionallik yoki Genri koeffitsiyenti.

Genri koeffitsiyentining miqdori berilgan gaz uchun yutayotgan suyuqlik va gazning tarkibiga, haroratiga bog‘liq bo‘lib, tizimning umumiy bosimiga bog‘liq emas. *E* ning haroratga bog‘liqligi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C \quad (19.3)$$

bu yerda *q* – eriydigan gazning differensial issiqligi; *R* – gaz konstantasi; *C* – yutayotgan suyuqlik va gazning tabiatiga bog‘liq bo‘lgan o‘zgarmas kattalik.



19.1-rasm. Gazning suyuqlikda erishiga haroratning ta’siri.

Ideal suyuqliklar uchun har xil haroratda konsentratsiyaning bosim bilan o‘zaro bog‘lanishi *P* – *x* diagrammada to‘g‘ri chiziq ko‘rinishida Genri koeffitsiyentiga teng bo‘lgan og‘ma chiziqlar orqali tasvirlanadi. 19.1-rasm va (19.3) tenglamaga muvofiq, harorat ortishi bilan Genri koeffitsiyentining miqdori (bir xil sharoitda) ortadi, (19.2) tenglamaga muvofiq esa gazning suyuqlikdagi eruvchanligi kamayadi.

Gaz aralashmasidan ajratib olinayotgan komponentning mol ulushi  $y_A$  va tizimdagi umumiy bosim *p* bo‘lganda, parsial bosim  $p_A$  Dalton qonuni bo‘yicha quyidagi bog‘lanish orqali ifodalanadi:

$$p_A = P y_A \quad (19.4)$$

$p_A$  ning qiymatini (19.1) tenglamaga qo‘ysak:

$$y_A^* = \frac{E}{P} x_A \quad (19.5)$$

Yoki Genri qonuni quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$y_A^* = m x \quad (19.6)$$

bu yerda  $m = E/P$  – taqsimlanuvchi koeffitsiyent yoki muvozanat holatdagi fazaning konstantasini ko‘rsatadi.

(19.6) tenglama berilgan gaz aralashmasidagi komponent bilan shu komponent suyuqlik fazalarining o'zaro bog'lanishini koordinata boshidan ma'lum burchak ostida o'tuvchi to'g'ri chiziq orqali ifodalaydi. Hosil bo'lgan tangens burchakning kattaligi tizimlarning harorat va bosimiga bog'liq. Bosim ortishi va harorat kamayishi bilan burchak qiymati ham kamayadi.

Shunday qilib, suyuqlikdagi gazning eruvchanligi bosimning ortishi va haroratning kamayishi bilan ko'payadi. Agar suyuqlik bilan gaz aralashmalari muvozanatda bo'lsa, u holda Genri qonuniga muvofiq, gaz aralashmalaridagi har bir komponent alohida aniqlanadi. Genri qonuni kritik harorati suyuqlik haroratidan yuqori bo'lgan gaz eritmalar uchun va faqatgina ideal eritmalar uchun qo'llanilishi mumkin. Shuning uchun o'ta suyultirilgan real eritmalar o'z xususiyatlari bo'yicha ideal eritmalariga o'xshash bo'lgani uchun, ular ham Genri qonuniga bo'ysunadi.

Genri qonuniga asosan, ya'shi eriydigan gazlarning eritmadagi konsentratsiyalari yuqori bo'lsa ham, ularning suyuqlikdagi eruvchanligi kam bo'ladi. Genri qonuniga bo'ysunmaydigan tizimlarda (19.6) tenglamadagi taqsimlanish koeffitsiyenti  $m$  o'zgaruvchan bo'lib, muvozanat chizig'i egri chiziq ko'rinishida bo'ladi va tajribada olingan qiymatlar bo'yicha aniqlanadi.

### 19.3. Absorbent bug'ining bosimini muvozanatga ta'siri.

Keltirilgan bog'liqliklarda yutuvchining bug'larining bosimini muvozanatga ta'siri inobatga olinmagan, agar bosim absorbsiyalanuvchi gazning parsial bosim bilan taqqoslanganda kichik bo'lsa bunga ruxsat etiladi. Agar yutuvchi bug'larining bosimi katta bo'lsa, u holda uning absorbsiya muvozanatiga ta'siri quyidagicha inobatga olinadi.

Raul qonuniga muvofiq, eritmadagi komponentning parsial bosimi toza komponent bug'larining bosimini uning eritmadagi molyar ulushiga ko'paytmasiga teng, ya'ni yutuvchi uchun:

$$p_{yu} = P_{yu}(1 - x) = P_{yu}x_p \quad (19.7)$$

Muvozanatli gaz fazasida absorbentning parsial bosimi quyidagiga teng

$$p_{yu} = Py_{yu} \quad (19.8)$$

(19.7) va (19.8) tenglamalardan:

$$y_{yu} = \frac{P_{yu}(1-x)}{p} = \frac{P_{yu}x_{yu}}{p} \quad (19.9)$$

Ushbu holda gaz fazasida absorbsiyalangan gazning konsentratsiyasini inert gazning konsentratsiyasiga nisbati quyidagicha:

$$Y = \frac{y}{1-y-y_{yu}} \quad (19.10)$$

Konsentratsiyani bunday ifodalashda umumiy bosim sifatida  $p - P_{yu}$  farq qabul qilinadi.

### 19.4. Moddiy balans va absorbent sarfi.

Fazalar sarfini qurilmaning balandligi bo'yicha o'zgarish deb va yutilayotgan gazning miqdorini nisbiy mol konsentratsiyada qabul qilamiz. Moddiy balans tenglamasini chiqarish uchun absorbsiya jarayonidagi fizik kattaliklarni quyidagicha belgilaymiz:  $G$  – inert gazning sarfi;  $Y_b$  va  $Y_{ox}$  – gaz aralashmasidagi absorbtivning boshlang'ich va oxirgi konsentratsiyasi;  $L$  – absorbentning sarfi;  $X_b$  va  $X_{ox}$  – absorbentning konsentratsiyasi. Bu holda moddiy balansning tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$G(Y_b - Y_{ox}) = L(X_{ox} - X_b) \quad (19.11)$$

Bu tenglamada absorbentning sarfi:

$$L = G \frac{(Y_b - Y_{ox})}{(X_{ox} - X_b)} \quad (19.12)$$

Uning solishtirma sarfi esa kmol inert gazga nisbatan:

$$l = \frac{L}{G} = \frac{(Y_b - Y_{ox})}{(X_{ox} - X_b)} \quad (19.13)$$

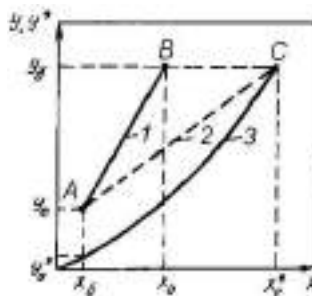
Bu tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$Y_b - Y_{ox} = l(X_{ox} - X_b) \quad (19.14)$$

(19.14) tenglamaga asosan absorbsiya qurilmasidagi konsentratsiya to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi, shuning uchun absorbsiya jarayonining grafikdagi ish chizig'i  $Y - X$  koordinata to'g'ri chiziq bo'lib, og'ish burchagining tangensi  $l = L/G$  ga teng bo'ladi.

Agar gaz fazasidagi tegishli komponent to'la yutilgan vaqtda  $Y_{ox} = 0$ , yutilgan komponentning miqdori esa  $GY_b$  ni tashkil etadi. Haqiqiy yutilgan modda miqdorini to'la yutilish vaqtidagi modda miqdoriga nisbati ajratib olish darajasi deb ataladi:

$$\varphi = \frac{G(Y_b - Y_{ox})}{GY_b} = \frac{Y_b - Y_{ox}}{Y_b} \quad (19.15)$$



**19.2-rasm. Absorbsiya jarayonining ishchi va muvozanat chiziqlari:**

1-absorbentning sarfi  $L$  bo'lgandagi ishchi chizig'i; 2-absorbentning sarfi  $L_{min}$  bo'lganda ishchi chizig'i; 3-muvozanat chizig'i  $Y^* = f(x)$ .

Ishchi chiziqni chizish uchun fazalarning absorberga kirishdagi ( $Y_b$  va  $X_b$ ) va undan chiqishdagi ( $Y_{ox}$  va  $X_{ox}$ ) tarkiblarini bilish kerak. Biroq odatda gaz va suyuqlikning dastlabki tarkiblari ( $Y_b$  va  $X_b$ ) va ajratib olish darajasi  $\varphi$  berilgan bo'ladi. So'ngra  $Y_{ox}$  ning qiymati aniqlanadi. Shunday qilib  $A$  nuqtasining o'rni belgilanadi (19.2-rasm). Absorbentning sarfiga ko'ra ishchi chizig'i nuqtasi atrofida joylanadi. Ishchi chiziq  $AC$  ning holati, ya'ni  $C$  nuqta muvozanat chizig'ida joylashgan vaqtda, absorbentning sarfi minimal qiymatga ega bo'ladi:

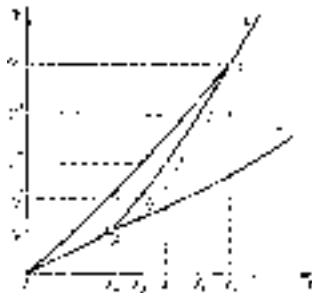
$$\frac{L_{min}}{G} = \frac{Y_b - Y_{ox}}{X_{ox}^* - X_b} \quad (19.16)$$

Absorbentning sarfi minimal bo'lganda ishchi chiziqning muvozanat chiziq bilan kesishgan nuqtasi  $C$  da jarayonning harakatlantiruvchi kuchi nolga teng bo'ladi.

#### 19.5. Issiqlik balansi va absorbent harorati.

Agar absorbsiya issiqlik berilishsiz kechsa, u holda harorat gazni suyuqlikka yutilishida ajralgan issiqlik hisobiga ortadi, buni hisoblashlarda inobatga olish zarur. Texnik hisoblashlarda gaz fazasi bilan isitishni inobatga olmasa ham bo'ladi va absorbsiya vaqtida ajralayotgan issiqlik faqatgina suyuqlikni qizdirishga sarflanadi deb hisoblash kerak.

Agar muvozanat chizig'i kiritilayotgan suyuqlikning  $t_b$  haroratida  $OD$  egri chiziq bilan tasvirlansa (19.3-rasm), u holda chiqib ketayotgan suyuqlik haroratidagi muvozanat chizig'i yuqorida joylashadi ( $OC$  egri chiziq) va o'zgaruvchan haroratda haqiqiy muvozanat chizig'i  $AB$  egri chizig'i bilan tasvirlanadi.



**19.4-rasm. Noizotermik absorbsiyada muvozanat egri chizig'i.**

Suyuqlikning berilgan tarkibidagi harorati  $t$  ma'lum bo'lsa, muvozanat egri chizig'ida suyuqlikning tarkibiga mos keluvchi bir nechta  $O'$  nuqtada  $Y^*$  konsentratsiyani aniqlash mumkin. Buning uchun absorbsion qurilmaning har bir qismi uchun issiqlik balansi tenglamasini tuzish kerak, ya'ni:

$$qM' = Lc(t - t_b) \quad (19.17)$$

bu yerda  $q$  – gaz erishining differensial issiqligi;  $M'$  - absorberning ko'rilayotgan qismida yutilgan gazning miqdori;  $L$  – absorbent sarfi;  $c$  – suyuqlikning issiqlik sig'imi;  $t$  – ushbu kesimda suyuqlikning harorati;  $t_b$  – suyuqlikning boshlang'ich harorati.

Ma'lumki  $M' = L(X - X_b)$ , u holda

$$q(X - X_b) = c(t - t_b)$$

Bundan

$$t = t_b + \frac{q}{c}(X - X_b) \quad (19.18)$$

### 19.6. Fizik absorbsiya tezligi.

Absorbsiya jarayonining tezligi quyidagi tenglamalar bilan xarakterlanadi, agar harakatlantiruvchi kuch gaz fazaning konsentratsiyalarida ifodalangan bo'lsa:

$$M = K_y F \Delta y_{ort} \quad (19.19)$$

agar harakatlantiruvchi kuch suyuq fazaning konsentratsiyalarida ifodalansa

$$M = K_x F \Delta x_{ort} \quad (19.20)$$

Ushbu tenglamalarda massa uzatish koeffitsiyentlari quyidagicha aniqlanadi:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_g} + \frac{m}{\beta_s}} \quad (19.21)$$

$$K_x = \frac{1}{\frac{1}{\beta_s} + \frac{1}{\beta_g m}} \quad (19.22)$$

bu yerda  $\beta_g$  – gaz oqimidan fazalarning to'qnashish yuzasiga massa berish koeffitsiyenti;  $\beta_s$  – fazalarning to'qnashish yuzasidan suyuqlik oqimiga massa berish koeffitsiyenti.

Ta'kidlanganidek yaxshi erigan gazlar uchun  $m$  qiymat kichik va suyuqlik fazasida diffuzion qarshilik kichik. U holda  $\frac{1}{\beta_g} \gg \frac{m}{\beta_s}$  va  $K_y \cong \beta_g$  qabul qilish mumkin. Yomon erigan gazlar uchun gaz fazasidagi diffuzion qarshilikni inobatga olmasa ham bo'ladi. Bundan  $\frac{1}{\beta_s} \gg \frac{1}{\beta_g m}$  va  $K_x \cong \beta_s$  qabul qilish mumkin.

Gaz fazasining molyar konsentratsiyasi gaz umumiy bosimining ulushlarida ifodalangan parsial bosim bilan almashtirilishi mumkin. U holda

$$M = K_p F \Delta p_{ort} \quad (19.23)$$

bu yerda  $\Delta p_{ort}$  – jarayonni o'rtacha harakatlantiruvchi kuchi, bosim birliklarida ifodalangan;  $K_p$  – harakatlantiruvchi kuch birligiga nisbatan massa uzatish koeffitsiyenti, yutilayotgan gazning parsial bosimi orqali ifodalangan.

Agar muvozanat chizig'i to'g'ri chiziq bo'lsa, u holda jarayonni o'rtacha harakatlantiruvchi kuchi quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$\Delta p_{ort} = \frac{\Delta p_{kat} - \Delta p_{kich}}{2,3 \lg \frac{\Delta p_{kat}}{\Delta p_{kich}}} \quad (19.24)$$

bu yerda  $\Delta p_{kat} = p_b - p_{ox}^*$  va  $\Delta p_{kich} = p_{ox} - p_b^*$  - absorbsion qurilmadan chiqishdagi harakatlantiruvchi kuchlar;  $p_b$  va  $p_{ox}$  – gazning qurilmaga kirish va undan chiqishdagi parsial bosimi;  $p_{ox}^*$  va  $p_b^*$  - gazning qurilmaga kirish va undan chiqishdagi muvozanat parsial bosimlari.

Agar parsial bosim bosim birliklarida ifodalansa, u holda

$$K_y = P K_p \quad (19.25)$$

#### Nazorat savollari.

1. Absorbsiya jarayonining mazmuni. Uning turlari.
2. Genri qonuni. Genri koeffitsiyenti qanday parametrlarga bog'liq va qaysi tenglama yordamida aniqlanadi?
3. Absorbsiya jarayonining moddiy balansi qanday tuziladi?
4. Absorbentning solishtirma minimal sarflari qanday topiladi?
5. Absorbsiya jarayonining tezligi qanday tenglama orqali ifodalanadi?
6. Absorbsiya koeffitsiyentlari qanday o'lchov birliklariga ega?

## 20-MA'RUZA

## ABSORBSIYA QURILMALARI.

### 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

#### Ma'ruza rejasi:

20.1. Yuzaviy absorber.

20.2. Plastinali absorber.

20.3. Quvurchali absorber.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>20.4.</b> Yassi parallel nasadkali absorberlar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                |
| <b>20.5.</b> Suyuqlikning yupqa qatlami ko'tarilma harakat qiluvchi absorber                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Absorbsiya qurilmalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- yuzaviy absorber to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- plastinali absorber to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- quvurchali absorber to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- yassi parallel nasadkali absorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- suyuqlikning yupqa qatlami ko'tarilma harakat qiluvchi absorber to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
| <b>Tayanch iboralar:</b> absorber, yuzaviy absorber, plastinali absorber, quvurchali absorber, nasadkali absorber.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                |

### 20.1. Yuzaviy absorber.

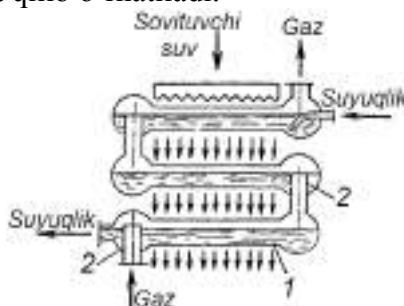
Bu turdagi absorberlar yaxshi eriydigan gazlarning suyuqlik hajmida yutilishida ishlatiladi. Bunday qurilmalarda jarayon harakatsiz va juda sekin harakatlanayotgan suyuqlik yuzasidan gaz o'tadi (20.1 - rasm). Absorberda gaz bilan suyuqlikning kontakt yuzasi kichik bo'lgani uchun, bir necha qurilma ketma-ket ulanadi, gaz bilan suyuqlik esa bir-biriga qarab qarama-qarshi yo'nalishda harakat qiladi. Absorberda suyuqlik bir qurilmadan ikkinchi qurilmaga o'z-o'zicha oqib tushishi uchun keyingisi oldingisidan pastroq qilib o'rnatiladi. Absorbsiya jarayonida hosil bo'lgan issiqlikni ajratib olish uchun qurilmaning ichiga suv bilan sovituvchi zmayeviklar o'rnatiladi.



20.1-rasm. Yuzali absorber.

Bunday qurilmalarning afzalliklari: tuzlishi sodda; qurilmaning barcha qurilmalarida bir xil qiymatdagi harakatlantiruvchi kuch (konsentratsiyalarning ayirmasi) ushlab turiladi; absorbsiya jarayoni nisbatan bir meydora boradi. Kamchiliklari: ish unumdorligi nisbatan kam; absorbsiya vaqtida hosil bo'ladigan issiqlikni ajratib olish qiyin.

Takomillashtirilgan yuzaviy absorber qurilmasidan birining konstruksiyasi 20.2-rasmda keltirilgan. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi juda kichik va to'qnashuvchi yuzasi kam bo'lganligi uchun bir nechta qurilma ketma-ket qilib o'rnatiladi.



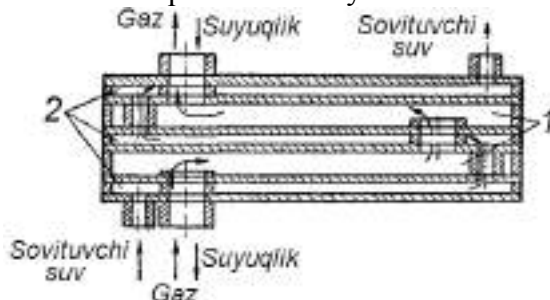
20.2-rasm. Sug'oliruvchi absorber: 1-absorber elementi; 2-quyilish ostonasi.

Suyuqlik va gaz qarama-qarshi yoʻnalishda harakatlanadi. Quvurlar ichidan suyuqlik oqib oʻtadi, unga teskari yoʻnalishda gaz harakat qiladi. Quvurlar ichidagi suyuqlik sathi ostona yordamida bil xil balandlikda ushlab turiladi.

Absorbsiya jarayonida hosil boʻlayotgan issiqlikni ajratib olish uchun quvurlar taqsimlash moslamasidan oqib tushayotgan suv bilan yuvilib turadi. Suvni bir meyorda taqsimlash uchun tishli taqsimlagich qoʻllaniladi. Bu turdagi absorberlar yaxshi eriydigan azlarni yutish uchun ishlatiladi.

### 20.2. Plastinali absorber.

Plastinali absorber ikkita kanalli tizimdan tashkil topgan (20.3-rasm): katta kesimli kanal 1 boʻyicha gaz va absorbent teskari oqim bilan harakatlanadi, kichik kesimli kanal 2 boʻyicha – sovituvchi issiqlik tashuvchi (odatda suv) harakatlanadi. Plastinali absorberlar odatda grafitdan tayyorlanadi, chunki grafit kimyoviy mustahkam va issiqlikni oʻzidan yaxshi oʻtkazadi.



### 20.3-rasm. Plastinali absorber:

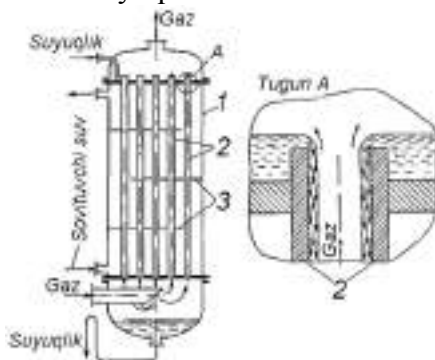
1-gaz va absorbent oʻtuvchi kanal; 2-sovituvchi issiqlik tashuvchi (suv) oʻtuvchi kanal.

Bu turdagi absorberlarning samaradorligi kichik va qurilma qoʻpol boʻlganligi sababli sanoatda kam qoʻllaniladi.

### 20.3. Quvurchali absorber.

Bu qurilmalarning tuzilishi yuzali absorberlarga nisbatan ixcham, samaradorligi yuqori boʻlgani uchun koʻproq ishlatiladi. Ushbu absorberlarda fazalarning kontakt yuzasi oqayotgan suyuqlik yupqa qatlamining harakati orqali hosil qilinadi. Bu absorberlar quyidagi turlarga boʻlinadi: quvurli, plastinali, suyuqlik yupqa qatlamli koʻtariladigan.

20.4-rasmda quvurli absorberning sxemasi koʻrsatilgan. Bu qurilmaning tuzilishi qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasiga oʻxshash. Absorbent qurilmaning yuqoridagi quvurlar panjarasiga kiritiladi, quvurlar boʻyicha taqsimlanadi va yupqa plyonka shaklida quvurning ichki yuzasi boʻyicha oqib tushadi. Gaz esa quvurning pastki qismidan yuqoriga, yupqa qatlam holida oqib kelayotgan suyuqlikka qarama-qarshi yoʻnalishda harakat qiladi. Suyuqlikka yutilgan gaz qurilmasining pastki qismidagi shtutser orqali ajratib olinadi. Hosil boʻlgan issiqlikni ajratib olish uchun quvurlar orasidagi boʻshliqqa suv yoki sovituvchi suyuqlik beriladi.



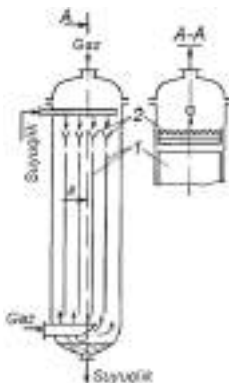
### 20.4-rasm. Quvurchali plyonkali absorber:

1-korpus; 2-quvurlar; 3-toʻsiq.

Quvurli absorberda gaz bilan suyuqlik oʻrtasidagi kontakt yupqa qatlamda (plyonkada) yuz beradi; absorbsiya jarayonida sovib turuvchi issiqlik almashinuv yuzasining ustida suyuqlik tez aralashadi. Shu sababdan bunday qurilmalardan yuqori issiqlik effektiga ega boʻlgan gaz aralashmalaridan bir yoki bir necha komponentni ajratib olishda foydalaniladi. Sifon suyuqlikni chiqarish uchun moʻljallangan uzatish quvuriga kirib qolishning oldini olishga xizmat qiladi.

#### 20.4. Yassi parallel nasadkali absorberlar.

Nasadkalar vertikal listlar ko‘rinishida bo‘lib, absorber hajmini bir nechta seksiyaga bo‘ladi (20.5-rasm).



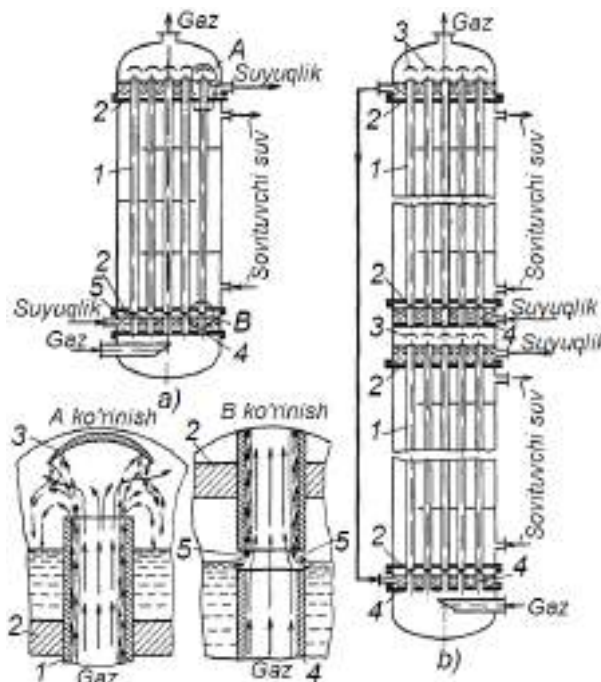
#### 20.5-rasm. Yassi parallel nasadkali plyonkali absorber:

1-listdan tayyorlangan nasadka paketlari; 2-taqismlash moslamasi.

Absorberga suyuqlik quvur orqali uzatiladi va taqsimlash moslamasi yordamida nasadkaga taqsimlanadi. Natijada tekis listning ikkala tomoni ham suyuqlik bilan yuvilib turadi. Gaz va yupqa qatlamli suyuqliklarning nisbiy harakat tezligiga qarab, suyuqlik yupqa qatlami pastga oqib tushishi yoki gaz oqimiga qo‘shilib tepaga ham harakatlanishi mumkin. Agar fazalar oqimining tezligi ko‘paysa, massa berish koeffitsiyentining qiymati va fazalar to‘qnashish yuzasi oshadi. Bunga sabab, chegaraviy qatlamning turbulizatsiyasi va unda uyurmalar hosil bo‘lishidir.

#### 20.5. Suyuqlikning yupqa qatlami ko‘tarilma harakat qiluvchi absorber.

20.6-rasmda suyuqlikning yupqa qatlami ko‘tarilma harakat qiluvchi absorberning sxemasi ko‘rsatilgan. Bu qurilma quvur to‘siqlarga o‘rnatilgan bir necha quvurlar va kameradan iborat. Gaz kameradan kichik quvur orqali quvurlarga, absorbent esa teshiklar orqali quvurlarga beriladi. Katta tezlik bilan harakat qilayotgan gaz o‘zi bilan suyuqlik yupqa qatlamini pastdan yuqoriga olib chiqib ketadi. Qurilmadan absorbent bilan bir xil yo‘nalishda yuqoriga qarab harakat qiladi. Quvurlardan chiqqan suyuqlik va tozalangan gaz qurilmaning yuqoriga qismidagi shtutserlar orqali tashqariga chiqib ketadi. Jarayon davomida hosil bo‘lgan issiqlikni ajratib olish uchun quvurlar orasiga sovituvchi suyuqlik beriladi.



#### 20.6-rasm. Suyuqlikning yupqa qatlami ko‘tarilma harakat qiluvchi absorber:

a-bir pog‘onali absorber; b-ikki pog‘onali absorber; A tugun-quvurdan chiqayotgan fazaning harakatlanish sxemasi; B tugun – quvurga kirayotgan fazaning harakatlanish sxemasi; 1-quvurlar; 2-quvurlar panjarasi; 3-tomchi ushlagich; 4-taqismlash patrubkasi; 5-absorbentni uzatish uchun teshiklar.

Ko'tariladigan suyuqlik yupqa qatlamli absorberlarda gazning harakat tezligi ( $30\div 40\text{ m/s}$ ) katta bo'lgani uchun, modda uzatish koeffitsiyentining miqdori ham katta, ammo bu qurilmalarda gidravlik qarshilik nisbatan yuqori bo'ladi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Desorbsiya jarayoni qanday maqsadlar uchun qo'llaniladi?
2. Absorbsiya-desorbsiya qurilmasining sxemasini qanday tasvirlash mumkin?
3. Absorberlar necha turga bo'linadi?
4. Yuzali va plyonkali absorberlar o'rtasida qanday prinsipial farq bor?

## **21-MA'RUZA**

## **NASADKALI VA PURKOVCHI ABSORBERLAR.**

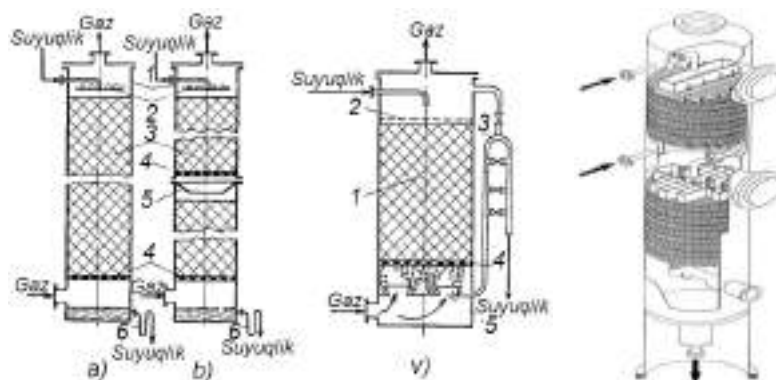
### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                            |
| 21.1. Nasadkali absorberlarning ishlash prinsipi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                            |
| 21.2. Nasadkali absorberlarning asosiy elementlari.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                            |
| 21.3. Ichi bo'sh purkovchi absorberlar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                            |
| 21.4. Tezkor to'g'ri oqimli purkovchi absorberlar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                            |
| 21.5. Mexanik purkovchi absorberlar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                            |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Nasadkali va purkovchi absorberlar to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- nasadkali absorberlarning ishlash prinsipi to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- nasadkali absorberlarning asosiy elementlari to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- ichi bo'sh purkovchi absorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- tezkor to'g'ri oqimli purkovchi absorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;</li> <li>- mexanik purkovchi absorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi</li> </ul> |                                                                            |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                            |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                            |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                            |
| <b>Tayanch iboralar:</b> nasadka, oqim, absorber, purkovchi absorber, mexanik absorber, venturi quvurchasi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                            |

#### **21.1. Nasadkali absorberlarning ishlash prinsipi.**

Nasadkali absorberlar sanoatda keng qo'llaniladi. Ushbu absorberlar turli shakldagi qattiq jism – nasadka bilan to'ldirilgan kolonnadan iborat. Nasadkali kolonnada 1 (21.1-rasm, a, b) nasadka 3 gaz yoki suyuqlik oqimi o'tishi uchun teshik yoki tirqishi bo'lgan tayanch panjara 4 ustiga taxlanadi. Ushbu teshikchalar nasadkani taqsimlagich 2 yordamida bir xilda sug'oradi va suyuqlik nasadkaning butun yuzasi bo'ylab yupqa plyonka shaklida pastga oqib tushadi. Ammo nasadkaning butun balandligi bo'yicha suyuqlikni bir xilda taqsimlashga erishib bo'lmaydi, bu devor oldi samarasi bilan izohlanadi. Mana shuning hisobiga suyuqlik kolonnaning markaziy qismidan uning devorlariga qarab harakatlanadi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, suyuqlik absorbentni kiritilgan joyidan kolonnaning chekka qismiga to'liq siqib boradi. Shuning uchun nasadka kolonnaga seksiyalarga ajratib yuklanadi, seksiyalar orasida suyuqlikni qayta taqsimlagichlar 5 o'rnatiladi, ularning vazifasi suyuqlikni kolonna chekkachidan emas uning o'qidan yo'naltirish.

Odatda nasadkali absorberlarning diametri 4 m dan ortmaydi. Katta diametrli kolonnalarda gaz va suyuqlikni qurilmaning ko'ndalang kesimi bo'yicha bir meyorda taqsimlash juda qiyin, shu sababdan katta diametrli absorberlarning samaradorligi ancha kichik bo'ladi. Biroq sanoatda diametri 12 m gacha bo'lgan qurilmalar ham ishlatiladi.



**21.1-rasm. Nasadkali absorber:**

a-nasadka yaxlit yuklangan; b-nasadka seksiyali yuklangan: 1-korpus; 2-suyuqlikni taqsimlagich; 3-nasadka; 4-tayanch panjara; 5-suyuqlikni qayta taqsimlagich; 6-gidravlik zatvor; v-emulgatsion nasadkali kolonna: 1-nasadka; 2-nasadkani tutib turuvchi to‘r; 3-gidravlik zatvor; 4-tayanch panjara; 5-gaz taqsimlagich.

### 21.2. Nasadkali absorberlarning asosiy elementlari.

Absorberni normal ishlashi uchun muhim muammolardan biri nasadkani bir xilda sug‘orish. Buning uchun maxsus moslama – sug‘orgichlar (21.2-rasm) ishlatiladi, ular oqimchali va purkovchi turlarga ajratiladi. Oqimchali sug‘orgichlarga taqsimlash plitalari, jelob (nov), sachratgichlar va hokazo (21.2-rasm, a-d), purkovchilarga – tarelkali, aylanuvchi markazdan qochma va boshqa sug‘orgichlar (21.2-rasm, ye, j).





**21.2-rasm. Sug'orgichlar:**

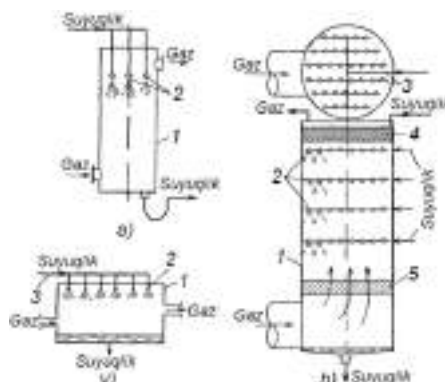
a-v-taqismlash plitalari; a-bostirma teshikchali; b-bostirma teshikchali va gazli patrubkali; v-erkin quyilishli (1-panjara; 2-suyuqlik uchun patrubka; 3-gaz uchun patrubka); g-taqsimlovchi jelob; d-saqratgichlar (1-silindrsimon; 2-yarim sharsimon; 3-yoriqli); ye, j-purkovchi sug'ogichlar: ye-tarelkali purkagich (1-bortli tarelkali; 2-bortsiz tarelkali); j-markazdan qochma (yuritma; 2-taqismllovchi konus; 3-purkagich).

Absorbentning sarfi katta bo'lgan sharoitda sachratgich ishlatiladi. Bunda suyuqliklarni sochib beruvchi teshiklarning diametri 3 mm va undan katta bo'lishi mumkin. suyuqlikning sarfini o'zgartirish uchun quvurchali bo'lgan taqsimlovchi tarelkalar ishlatiladi. Teshikli list o'rniga bir xil balandlikda usti qiyshiq qilib qirqilgan kalta quvurlari bo'lgan tarelka qo'llaniladi. Bunday taqsimlagichlarning diametri 3 metrgacha boradi. Katta diametrli qurilmalar uchun diskli sochib beruvchilar, forsunkala, teshikli quvurlar va hokazolar ishlatiladi.

### **21.3. Ichi bo'sh purkovchi absorberlar.**

Bu absorberlarda fazalarning o'zaro jips konakti suyuqlikni gaz oqimiga sochib yoki yoyib berish usuli orqali amalga oshiriladi. Gaz bilan suyuqlik bir-biriga nisbatan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Ichi bo'sh sochib beruvchi absorberlar vertikal kolonnadan iborat bo'lib, yuqori qismiga suyuqlikni sochib beruvchi maxsus forsunkalar o'rnatiladi (21.3-rasm). Sochib beruvchi absorberlarda forsunkalardan suyuqlik uzoqlashib, tomchilarga aylanishi natijasida hajmiy massa uzatish koeffitsiyentining qiymati birdan kamayadi. Shu sababli bu qurilmalardan forsunkalar ma'lum masofada qurilmaning balandligi bo'yicha bir necha qator qilib o'rnatiladi. Forsunkali absorberlarda gazning tezligi odatda  $1 \div 1,5$  m/s ga teng bo'ladi.

Sochib beruvchi ichi bo'sh absorberlarning tuzilishi sodda, gidravlik qarshiligi kam, iflosroq gaz aralashmalarini ham tozalash mumkin, boshqarish, tuzatish va tozalash oson. Kamchiliklari: bu qurilmalarning samaradorligi yuqori emas, suyuqlikni sochib berish uchun ko'p energiya sarflanadi, loyqalangan suyuqliklar bilag ishlash qiyin, fazalarning kontakt yuzasini oshirish uchun ko'proq suyuqlik sarflanadi, suyuqlik tomchilari kolonnadan chiqib ketmasligi uchun gaz tezligining miqdori kichik qiymatga ega.



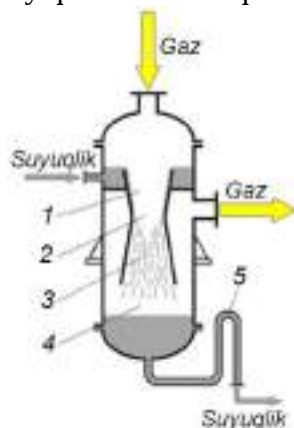
**21.3-rasm. Ichi bo'sh purkovchi absorber qurilmasi:**

a-suyuqlik yuqoridan purkaluvchi vertikal absorber; b-suyuqlik qurilmaning balandligi bo'yicha purkaluvchi vertikal absorber; v-gorizontall kesishuvchan oqimli; 1-korpus; 2-forsunkalar; 3-sug'oruvchi suyuqlik kollektori; 4-tomchi ushlagich; 5-gaz taqsimlash panjarasi.

### **21.4. Tezkor to'g'ri oqimli purkovchi absorberlar.**

To'g'ri yo'nalishli sochib beruvchi absorberlarda sochilib berilayotgan suyuqlik gaz oqimi bilan qamrab olinib, katta tezlikda ( $20 \div 30$  m/s dan yuqori) harakat qilayotgan gaz oqimi bilan aralashib ketadi.

Soʻngra ajratish kamerasida suyuqlik gazdan ajratib olinadi. Bu qurilmalarga misol qilib Venturi absorberini keltirish mumkin, uning asosiy qismi Venturi quvuridan iborat (21.4-rasm).



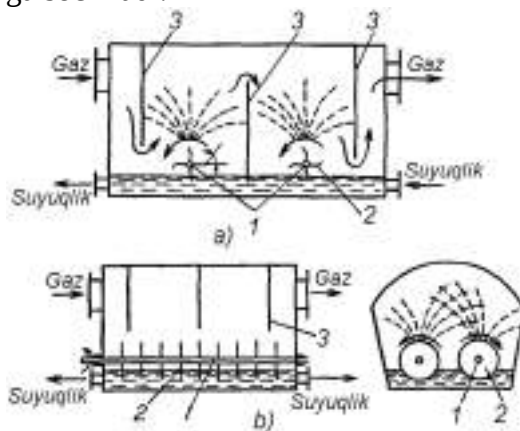
**21.4-rasm. Venturi absorberi:**

1-konfuzor; 2-diffuzor boʻgʻzi; 3-diffuzor; 4-ajratish kamerasi; 5-gidravlik zatvor.

Quvur orqali berilayotgan suyuqlik diffuzorning ustki qismidan plyonka holida oqib, diffuzorda kolonnaning yuqori qismidan kirayotgan gaz oqimiga yoyilib ketadi. Diffuzorda gazning tezoigi kamayib, gaz oqimining kinetik energiyasi bosim energiyasiga aylanadi. Gaz oqimiga aralashgan suyuqlik tomchilari esa kolonnaning ajratgich qismidan ajratib olinadi.

#### **21.5. Mexanik purkovchi absorberlar.**

Sochib beruvchi absorberlarning yana bir turi – mexanik absorberlar boʻlib, ularda suyuqlik bilan gazning kontakt yuzasining katta boʻlishini taʼminlash uchun suyuqlik aylanma mexanizm yordamida sochib beriladi (21.5-rasm). Qisman suyuqlikka botirilgan, gorizontal valga oʻrnatilgan teshikli disklar qoʻzgʻalmas qoplama ichida aylanma harakat qiladi. Val aylanishi natijasida suyuqlik diskarga intilib, mayda tomchilar shaklida atrofga sochiladi.



**21.5-rasm. Mexanik purkovchi absorberlar:**

a-parrak turidagi val yordamida suyuqlikni purkovchi; b-suyuqlikni disk yordamida purkovchi; 1-val; 2-sachratgich; 3-toʻsiq.

Suyuqlikni sochib beruvchi absorberlar qatoriga rotorli markazdan qochma absorber ham kiradi. Mexanik absorberlar boshqa sochib beruvchi absorberlarga qaraganda ixcham va samarali ishlaydi. Ammo konstruksiyasi murkkab va jarayonni boshqarish uchun koʻp energiya sarf boʻladi. Sochib beruvchi absorberlarning samaradorligi asosan suyuqlikni sochuvchi qurilmalarning konstruktiv tuzilishiga bogʻliq.

#### **Nazorat savollari.**

1. Nasadkali absorberlarning gidrodinamik rejimlari.
2. Qaysi rejimda qurilma yuqori samaradorlikka ega?
3. Nima uchun nasadkali absorberlar sanoatda koʻp ishlatiladi?
4. Nasadkalarining asosiy turlarini ayting?
5. Nasadkalar qanday koʻrsatkichlar bilan xarakterlanadi?
6. Nasadkali absorberning ishlash prinsipini tushuntiring?

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b><br>22.1. Quyilish moslamasi bo'lgan tarelkali kolonnalar.<br>22.2. To'rsimon tarelkalar.<br>22.3. Klapanli tarelkalar.<br>22.4. Plastinali tarelkalar.<br>22.5. Quyilish moslamasi bo'lmagan tarelkali kolonnalar                                                                                                                                                                             |                                                               |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Tarelkali absorberlar to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b><br>- quyilish moslamasi bo'lgan tarelkali kolonnalar to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- to'rsimon tarelkalar to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- klapanli tarelkalar to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- plastinali tarelkalar to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- quyilish moslamasi bo'lmagan tarelkali kolonnalar to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                               |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                               |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                               |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                               |
| <b>Tayanch iboralar:</b> tarelka, quyilish moslamasi, to'rsimon tarelka, kolonna, klapanli tarelka, plastinali tarelka.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               |

**22.1. Quyilish moslamasi bo'lgan tarelkali kolonnalar.**

Bunday absorberlar vertikal kolonnadan iborat bo'lib, ichki qismiga uning balandligi bo'ylab bir xil oraliqda bir nechta gorizonta to'siqlar, ya'ni tarelkalar o'rnatiladi. Tarelkalar orqali gaz va suyuqlik bir-biri bilan o'zaro to'qnashib, ularning harakati boshqariladi. Gazlarning suyuqlikdan o'tishi va tomchi hamda ko'piklarning hosil bo'lishi barbotaj deyiladi.

Sanoatda konstruktiv tuzilishi turlicha bo'lgan tarelkalar ishlatiladi. Suyuqlikning bir tarelkadan ikkinchi tarelkaga quyilishiga qarab tarelkali absorberlar: quyilish qurilmasi bor va quyilish qurilmasi yo'q bo'ladi.

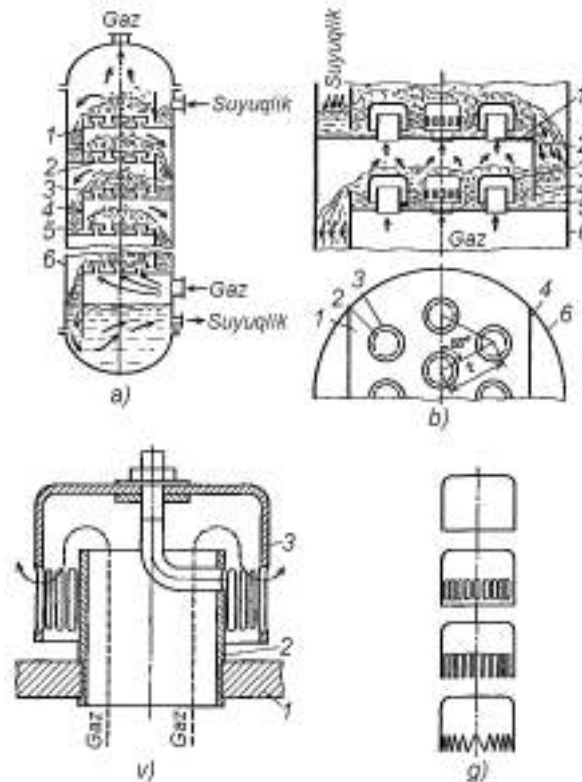
Quyilishi qurilmasi bor tarelkali kolonnalarda suyuqlik bir tarelkadan ikkinchi tarelkaga quyiluvchi quvur yoki maxsus qurilma orqali o'tadi. Bunda quvurning pastki qismi pastki tarelkadagi stankaga tushirilgan bo'lib, gidravlik zatvor vazifasini bajaradi, ya'ni tarelkadan ikkinchi tarelkaga faqat suyuqlikni o'tkazib gazni o'tkazmaydi. 22.1-rasmda quyilishi qurilmasi bor tarelkali absorberning sxemasi ko'rsatilgan. Bunda suyuqlik kolonnaning bori qismidagi tarelkaga berilib, bu suyuqlik tarelkadan tarelkalarga maxsus qurilma orqali o'tib kolonnaning pastki qismidan chiqib ketadi. Gaz esa kolonnaning pastki qismidagi tarelkalarning teshikchalaridan pufakchalar holida taqsimlanib, tarelkaladagi suyuqlik qatlamida ko'pik hosil qilib yuqoriga harakat qiladi. Tarelkada hosil bo'lgan gaz ko'piklari massa va issiqlik almashinuv jarayonining asosiy qismini tashkil qiladi. Tozalangan gaz esa kolonnaning yuqori qismidan chiqadi. Quyilish quvurlar shunday joylashtiriladiki, bunda qo'shni tarelkadagi suyuqlik qarama-qarshi yo'nalishda harakat qiladi.

Quyilish qurilmasi bor absorberlarda elaksimon, qalpoqchali, klapanli, kapsulali, plastinali va boshqa turdagi tarelkalar o'rnatiladi.

**22.2. To'rsimon tarelkalar.**

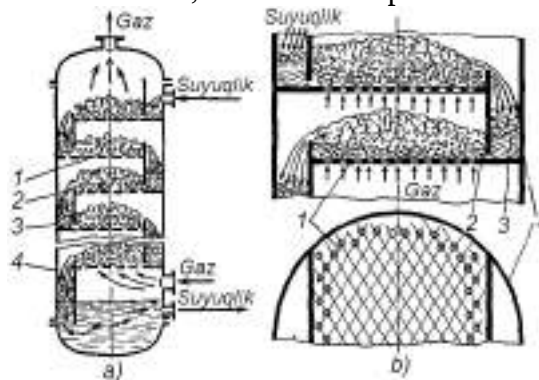
22.2-rasmda to'rsimon tarelkali absorberning ishlash sxemasi ko'rsatilgan. Bu turdagi qurilmalar vertikal silindrsimon qoplamadan iborat bo'lib, uning ichiga gorizonta tarelkalar o'rnatiladi. Tarelkalarning butun yuza qismi 2÷8 mm li teshikchalardan iborat bo'ladi. Suyuqlikning bir tarelkadan

ikkinchisiga o'tishi va tarelkadagi suyuqlik qatlamininn balandligi quyi qismi stakanga o'rnatilgan quyilish quvurlari orqali rostlanadi. Gaz tarelka teshiklaridan o'tib, suyuqlik qatlamida pufakchalar holida taqsimlanadi. Gaz tezligi juda kam bo'lsa, yuqori tarelkadagi suyuqlik teshiklar orqali quyi tarelkaga oqib tushib ketadi, natijada az bilan suyuqlikning massa almashinuv samaradorligi juda ham kamayib ketadi. Shuning uchun berilayotgan gaz tezligining miqdori va uning bosimi tarelkadagi suyuqlik qatlamining bosimidan yuqori bo'lib, tarelkadan suyuqlikning oqib tushishiga yo'l qo'ymaslik kerak. Odatda to'rsimon tarelka yuzasidagi suyuqlik qatlamining balandligi 25÷30 mm bo'ladi.



**22.1-rasm. Kolonna va qalpoqchali tarelka mosalasi:**

a-tarelkali kolonna; 2-ikkita qo'shni tarelka; v-kapsulali qalpoqcha; g-kapsulali qalpoqchalarning shakllari; 1-tarelka; 2-gazli patrubkalar; 3-aylana qalpoqcha; 4-ostonali quyilish to'siqlari; 5-gidravlik zatvor; 6-kolonna korpusi.



**22.2-rasm. To'rsimon tarelkali kolonna moslamasi:**

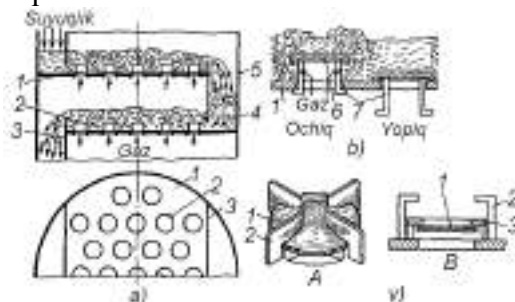
a-tarelkali kolonna; b-ikkita qo'shni tarelkalar; 1-tarelka; 2-quyilish to'siqlari; 3-gidravlik zatvor; 4-kolonna korpusi.

To'rsimon tarelkalarining tuzilishi sodda, montaj qilish, tuzatish va kuzatib turish oson, hamda gidravlik qarshiligi juda kam. To'rsimon tarelkalar gazning tezligi katta intervalda o'zgarganda ham barqaror ishlaydi. Bundan tashqari, bu tarelkalar gaz va suyuqlikning ma'lum miqdorida eng samarali ishlash qobiliyatiga ega.

To'rsimon tarelkalarining teshiklari iflosalanadi va cho'kindilar ta'sirida tez berkilib qoladi. Agar gazning tezligi yoki bosimi birdan kamayib ketsa yoki to'xtatib qo'yilsa, tarelkadagi suyuqlikning hammasi quyi tarelkalarga oqib tushadi va jarayonni davom ettirish uchun kolonna qaytadan to'ldiriladi.

### 22.3. Klapanli tarelkalar.

To'rsimon tarelkali absorberlarga qaraganda qalpoqcha (klapanli) tarelkali absorberlar gaz aralashmalari iflos bo'lganda ham uzoq muddat barqaror ishlaydi. Gaz tarelkalarga patrubkalar orqali kirib, bir nechta alohida oqim holida qalpoqchalarning teshigi bo'ylab taqsimlanadi (22.3-rasm). Qalpoqchalarning teshiklari tishli bo'ladi va ular to'g'ri burchakli uchburchak shaklida tayyorlanadi. Keyin esa gaz quyish qurilmasi orqali bir tarelkadan ikkinchi tarelkaga quyilayotgan suyuqlik qatlamidan o'tadi. Suyuqlik qatlamlaridagi harakat davomida ba'zi mayda oqimchalarning bir qismi bo'linib ketadi, gaz esa suyuqlikda pufakchalar holida taqsimlanadi. Qalpoqchali tarelkalardagi gaz ko'piklari va pufakchalarning hosil bo'lish samaradorligi gaz ko'piklari va pufakchalarning hosil bo'lishi samaradorligi gaz harakatining tezligiga va qalpoqchalarning suyuqlikka tushirilgan balandligining o'lchamiga bog'liq.



**22.3-rasm. Qalpoqchali tarelka moslamasi:**

a-aylana qalpoqchali ikkita qo'shni tarelka; b-qalpoqchani ishlash prinsipi: 1-tarelka; 2-klapan; 3-ostonali quyilish to'sig'i; 4-gidravlik zatvor; 5-kolonna korpusi; 6-qalpoqcha diski; 7-qalpoqcha ko'tarilishini chegaralagich; v-yuqorisida chegaralagich (A) va yuk (B) bo'lgan aylana qalpoqcha; 1-diskli qalpoqcha; 2-chegaralagich; 3-yuk.

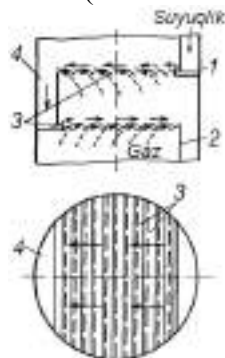
Qalpoqchalar dumaloq va tunnel shaklida tayyorlanadi. Tarelkaning ustida dumaloq qalpoqchalar joylashtirilganda ularning qadami qalpoqcha diametridan  $1,3 \div 1,9$  marotaba katta qilib olinadi. Vakuum bilan ishlaydigan kolonnalarda qalpoqchaning qadami kichik, atmosfera bosim va kam miqdordagi ortiqcha bosim bilan ishlaydigan qurilmalarda o'rtacha, yuqori bosim bilan ishlaydigan absorberlarda esa qalpoqchaning qadami katta qilib olinadi.

Qalpoqchali tarelkalar quyilish quvurining joylanishi va suyuqlikning tarelkaning ustidagi harakat yo'nalishi bo'yicha ham bir-biridan farq qiladi.

Qalpoqchali tarelkalar gaz va suyuqlikning sarfi katta bo'lganda ham barqaror ishlaydi. Kamchiliklari: konstruksiyasi murakkab, berilayotgan gaz miqdori kam bo'lganda yomon ishlaydi.

### 22.4. Plastinali tarelkalar.

Plastinali tarelkalarda fazalar yuqori tarelkalarga nisbatan bir tomonlama yo'nalishda harakat qiladi. Har bir pog'ona to'g'ri yo'nalishda ishlagani uchun gaz va suyuqlikning sarfini birdan oshirish mumkin. butun kolonna esa fazalarning qarama-qarshi yo'nalishida ishlaydi. Plastinali tarelka kolonnada suyuqlik yuqori tarelkadan gidravlik zatvorga tushib, quyish to'siqlari orqali og'ma shaklda joylashgan qator plastinalardan tashkil topgan tarelkaga tushadi (22.4-rasm). Tarelkaga tushgan suyuqlik og'ma plastinlardan tashkil topgan plastinalarning birinchi teshigiga kirishi zahoti teshikdan katta tezlikda chiqib kelayotgan gaz bilan to'qnashadi (uzlukli chiziq).



**22.4-rasm. Plastinali tarelka moslamasi:**

1-gidravlik zatvor; 2-quyilish to'sig'i; 3-plastinalar; 4-quyilish cho'ntagi.

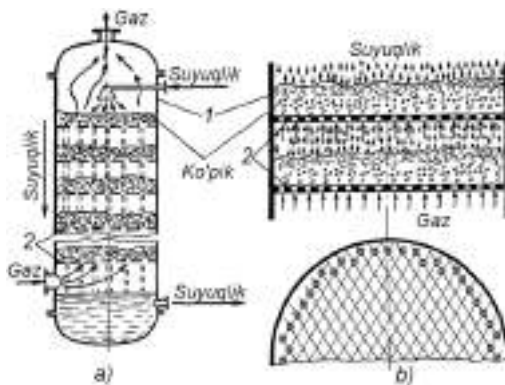
Plastinalarning og'ish burchagi kichik bo'lgani ( $10\div 15^\circ$ ) uchun kirayotgan gaz tarelka tekisligiga nisbatan bir oz parallel bo'ladi. Natijada suyuqlik siqiladi va gaz oqimida suyuqlik mayda tomchilarga yoyilib, tarelka bo'yicha keyingi teshiklarga otiladi va suyuqlik bilan gazning to'qnashishi yana takrorlanadi. Bunda suyuqlik katta tezlikda tarelka bo'ylab quyish to'siqlaridan to'kish chuqurchasiga tomon harakat qiladi.

Plastinali tarelkalarda boshqa konstruksiyali tarelkalarga nisbatan suyuqlik dispers, ya'ni tarqaluvchi fazada bo'lib, gaz esa xlit holda bo'ladi. Gaz bilan suyuqlik tomchi va ko'piklar sirtida to'qnashadi. Tarelkadagi gaz-suyuqlik (dispers) fazalardagi gidrodinamik rejim tomchi va ko'pik holida bo'ladi. Plastinali tarelkalarining gidravlik qarshiligi kam, uni tayyorlash uchun kam metall sarflanadi, loyqalangan suyuqliklarda ham yaxshi ishlashi mumkin. bu tarelkalarda kolonna balandligi bo'ylab gaz bilan suyuqlikning aralashishi natijasida massa almashinuvining harakatlantiruvchi kuchi ko'p bo'ladi.

Plastinali tarelkalarining kamchiliklari: tarelkaga issiqlik berish va hosil bo'lgan issiqlikni olib ketish qiyin, suyuqlik sarfi kam bo'lgani sabab, uning samaradorligi kam. Shuning uchun hozirgi vaqtda sanoatning ko'p tarmoqlarida suyuqlik bilan gazning yo'nalishi bir xil bo'lgan maxsus konstruksiyali tarelkalar kengroq qo'llaniladi.

### 22.5. Quyilish moslamasi bo'lmagan tarelkali kolonnalar.

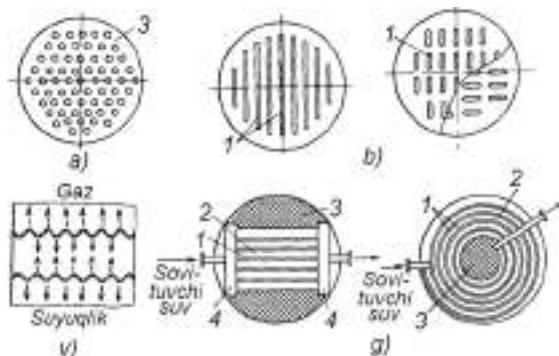
Quyilish qurilmasi bo'lmagan tarelkalarda gaz va suyuqlik bitta teshikdan o'tadi (22.5-rasm). Tarelkada gaz bilan suyuqlikning bir vaqtda o'zaro ta'sirida barbotaj natijasida suyuqlikning bir qismi pastdagi tarelkaga o'z-o'zicha oqib tushadi. Shuning uchun bu xildagi kolonnalar ag'darilma tarelkali kolonnalar deyiladi.



22.5-rasm. Ag'darilma tarelka va kolonna moslamasi:

a-ag'darilma tarelkali kolonna; b-ikkita qo'shni teshikchali ag'darilma tarelkalar; 1-kolonna; 2-tarelka.

Ag'darilma tarelkalar turli konstruktiv tuzilishga ega (22.6-rasm). Bunday tarelkalar teshikli, to'rli, quvurli, to'lqinsimon va hokazo bo'lishi mumkin.



22.6-rasm. Ag'darilma tarelkalarining turlari:

a-teshikli; b-to'rli; v-to'lqinsimon; g-quvurli; 1-yoriqlar; 2-quvurlar; 3-teshikli list; 4-kollektorlar.

Teshikli tarelkalar tuzilishi jihatdan to'rsimon tarelkalarga o'zhash bo'lib, ulardan quyish qurilmasi bo'lmaganligi bilan farqlanadi (22.6-rasm, a). Tarelkadagi teshiklarning diametri  $4\div 10$  mm bo'lib, hamma teshiklar yuza kesimining yig'indisi kolonna yuza kesimining  $10\div 25\%$  ini egallaydi.

To'rli tarelkalardar suyuqlik va gaz o'tadigan teshiklar to'r shaklida bo'lib, teshiklar kattaligi  $3\div 8$  mm bo'ladi (22.6-rasm, b). To'rli ag'darilma tarelkalar sodda, boshqa tarelkalarga nisbatan gidravlik qarshiligi kam, ularni tayyorlash va montaj qilish arzon.

Quvurli ag'darilma tarelkalarda barbotaj qatlamida hosil bo'ladigan issiqlikni quvurlarga sovituvchi issiqlik tashuvchi berib ajratib olish qulay. Ammo bunday tarelkalarining tuzilishi teshikli va to'rtli tarelkalarga nisbatan murakkab (22.6-rasm, g). Bu uchali ag'darilma tarelkada ularning samarali ishlashini ta'minlovchi gaz va suyuqlik tezligi kam miqdorda o'zgaradi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Tarelkali absorberlar necha turga bo'linadi?
2. Tarelkali absorberlarning ishlashi qanday gidrodinamik rejimlar orqali xarakterlanadi?
3. Suyuqlikni sochib beruvchi absorberlar qanday afzalliklarga ega?
4. Mexanik va Venturi absorberlarining asosiy farqlari nimalardan iborat?
5. Oxirgi yillarda olimlar tomonidan istiqbolli absorberlarning qanday yangi konstruksiyalari taklif etilgan?

## **23-MA'RUZA**

## **ABSORBERLARNI HISOBLASH VA DESORBSIYA.**

### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

|                                                                                                                                  |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b>                                                                                                           |                                                                               |
| 23.1. Plyonkali absorberlarni hisoblash.                                                                                         |                                                                               |
| 23.2. Nasadkali absorberlarni hisoblash.                                                                                         |                                                                               |
| 23.3. Tarelkali absorberlarni hisoblash.                                                                                         |                                                                               |
| 23.4. Desorbsiya.                                                                                                                |                                                                               |
| 23.5. Absorbsion qurilmalarning sxemalari                                                                                        |                                                                               |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                   | Absorberlarni hisoblash va desorbsiya to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                                    |                                                                               |
| - plyonkali absorberlarni hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                           |                                                                               |
| - nasadkali absorberlarni hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                           |                                                                               |
| - tarelkali absorberlarni hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                           |                                                                               |
| - desorbsiya to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                                  |                                                                               |
| - absorbsion qurilmalarning sxemalari to'g'risida tushunchalar beriladi                                                          |                                                                               |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                              |                                                                               |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                 |                                                                               |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                  |                                                                               |
| <b>Tayanch iboralar:</b> issiqlik balansi, issiqlik miqdori, massa berish, massa uzatish, konsentratsiya, molyar konsentratsiya. |                                                                               |

#### **23.1. Plyonkali absorberlarni hisoblash.**

Quvurchali qurilmalar uchun gazning chegaraviy tezligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\lg\{[w_g^2 \rho_g / (g d_e \rho_s)] \mu_s^{0,16}\} = A - 1,75(L' - G')^{1/4} (\rho_g / \rho_s)^{1/8} \quad (23.1)$$

bu yerda  $A = 0,47 + 1,5 \lg(d_e / 0,025)$ .

Quvurlarda gazning tezligi qabul qilinganda quvurning umumiy ko'ndalang kesim maydoni quyidagicha aniqlanadi:

$$S = Q/w$$

So'ngra quvurning ichki diametri qabul qilinadi ( $0,02 \div 0,05$  m oralig'ida) va quvurlar soni quyidagicha aniqlanadi:

$$n = S / (0,785 d^2)$$

Quvurlar qadamini  $t = (1,25 \div 1,5) d_t$  (bu yerda  $d_t$  – quvurning tashqi diametri) qabul qilib, absorberning diametri aniqlanadi:

$$D = t(b - 1) + 4d_t$$

bu yerda  $b = (2a_1 - 1)$  – quvurlar shaxmatsimon tartibda joylashganda oltiburchakning eng katta diagonalida joylashgan quvurlarning soni;  $a_1$  – eng katta oltiburchakning tomonidagi quvurlar soni.

Quvurchali absorberda quvurlarning balandligi:

$$H = F_q / (n\pi d)$$

bu yerda  $F_q$  – barcha quvurlarning ichki yuzasi.

Fazalarning to‘qnashish yuzasi  $F = F_q$  ga teng bo‘lganda:

$$F = n\pi dH$$

$F = M / (K_y \Delta y_{ort})$  ekanligi inobatga olinganda:

$$H = M / (n\pi d K_y \Delta y_{ort}) \quad (23.2)$$

(23.2) tenglamaga kiruvchi massa berish koeffitsiyentini aniqlash uchun gaz va suyuq fazalardagi massa berish koeffitsiyentlarining qiymatini bilish zarur. Gaz fazasida massa berish koeffitsiyentini quyidagi tenglama yordamida aniqlash mumkin:

$$Nu'_g = (\lambda/8) Re_g (Pr'_g)^{1/3} \quad (23.3)$$

tenglamadagi  $\beta_s$  – qiymat esa:

$$Nu'_s = B Re_s^m (Pr'_s)^{0,5} (\delta_{ch}/H)^p \quad (23.4)$$

Plyonkali absorberlarning gidravlik qarshiligi  $\Delta P$  quyidagi tenglama bo‘yicha aniqlanadi:

$$\Delta P = \lambda (H/d_e) (w_{nis}^2 \rho_d / 2)$$

bu yerda  $w_{nis} = w + w_{s,ort}$  – gazning nisbiy tezligi (teskari oqimda);  $\lambda$  – ishqalanish koeffitsiyenti.

Ishqalanish koeffitsiyenti quyidagi tenglama bo‘yicha aniqlanadi:  $Re_g < Re_{g.kr}$  bo‘lganda

$$\lambda = 86 / Re_g$$

$Re_g > Re_{g.kr}$  bo‘lganda

$$\lambda = [0,11 + 0,9(w_{s,ort} \mu_s / G)^{2/3}] / Re_g^{0,16} \quad (23.4a)$$

bu yerda  $Re_g = w_{nis} d_e \rho_g / \mu_g$  – gaz uchun Reynolds mezon;  $Re_{g.kr}$  – Reynolds mezonining kritik qiymati.

$Re_{g.kr}$  qiymat quyidagi bog‘liqlikdan aniqlanadi:

$$Re_{g.kr} = \left[ \frac{86}{0,11 + 0,9(w_{s,ort} \mu_s / \sigma)^{2/3}} \right]^{1,19} \quad (23.5)$$

### 23.2. Nasadkali absorberlarni hisoblash.

Absorber diametrini aniqlashda nasadkani absorber bilan namlanganlik darajasini bog‘lash kerak. Sug‘orish zichligini nasadkaning to‘liq namlanganligiga bog‘liq bo‘lib, uning absorber diametriga va absorbent sarfiga bog‘liqligi quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$U = L_0 / 0,785 D^2 \quad (23.6)$$

bu yerda  $U$  – sug‘orish zichligi,  $m^3/(m^2 \cdot s)$ ;  $L_0$  – absorbentning hajmiy sarfi,  $m^3/s$ .

Olingan  $U$  kattalik orqali namlanganlik koeffitsiyentini  $\Psi$  aniqlash mumkin:

$$\Psi = 1 - A \exp(-m) \quad (23.7)$$

bu yerda  $m = C Re_s^n = C [4U \rho_s / (a \mu_s)]$ ;  $n$  – daraja ko‘rsatkichi;  $A$ ,  $C$  va  $n$  kattaliklar maxsus adabiyotlarda keltirilgan (masalan, o‘lchami 15÷35 mm bo‘lgan Roshig halqasi uchun  $A=1,02$ ,  $C=0,16$ ,  $n=0,4$ ).

(23.7) tenglama nasadkaning solishtirma yuzasi  $a$  topiladi va u orqali solishtirma namlangan yuza  $a_{nam}$  aniqlanadi.

Absorberning diametri. Bundan massa uzatish koeffitsiyentlarini  $K_y$  va  $K_x$  hisoblash uchun gaz  $\beta_g$  va suyuq  $\beta_s$  fazada massa berish koeffitsiyentlari xususiy mezonli tenglamalar yordamida aniqlanadi. Masalan uyum qilib taxlangan nasadkalar uchun massa berish koeffitsiyenti quyidagi tenglama bo‘yicha aniqlanadi:

$$Nu'_g = 0,407 Re_g^{0,655} (Pr'_g)^{1/3} \quad (23.8)$$

Halqali nasadka uchun suyuq fazada massa berish koeffitsiyenti quyidagi tenglama bo‘yicha aniqlanadi:

$$Nu'_s = 0,0021 Re_g^{0,75} (Pr'_g)^{0,5} \quad (23.9)$$

Absorberlarning gidravlik qarshiligi. Absorberning gidravlik qarshiligi hisoblashda dastlab quruq nasadkaning qarshiligi  $\Delta P$  quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta P_q = \lambda(H/d_e)(w^2\rho_g/2) \quad (23.10)$$

bu yerda  $\lambda$  – ishqalanish va nasadkaning mahalliy qarshiligiga umumiy bosim yo'qotilishini inobatga oluvchi qarshilik koeffitsiyenti;  $d_e = 4\varepsilon/a$  – nasadkaning ekvivalent diametri.

Odatda  $\lambda$  qiymat empirik tenglama orqali aniqlanadi. Masalan, halqali nasadka uchun qarshilik koeffitsiyenti quyidagi bog'liqliklar bo'yicha aniqlanadi:

$Re_g < 40$  bo'lganda (laminar rejim)

$$\lambda = 40/Re_g \quad (23.11)$$

$Re_g > 40$  bo'lganda (turbulent rejim)

$$\lambda = 16/Re^{0,2} \quad (23.12)$$

bu yerda  $Re_g$  – gaz uchun Reynolds mezoni.

### 23.3. Tarelkali absorberlarni hisoblash.

Ma'lumki tarelkalarda fazalar to'qnashish yuzasini aniqlash juda qiyin, bunda massa berish koeffitsiyenti tarelka kesimiga  $f_t$  yoki tarelkadagi ko'pik hajmiga  $V_k = h_k f_t$  (bu yerda  $h_k$  – tarelkadagi ko'pikning balandligi) kiritiladi. U holda tarelkada uzatish soni birligini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

gaz fazasi uchun:

$$n_{gg} = \beta_{gf_t} f_t / G \quad (23.13)$$

suyuq faza uchun:

$$n_s = \beta_{sf_t} f_t / L \quad (23.14)$$

Tarelkalarining turli konstruksiyalari (ag'darilma, to'rli, qalpoqchali va hok.) uchun massa berish koeffitsiyentini aniqlash uchun umumlashgan tenglama taklif etilgan:

$$Nu' = A Pe^{0,5} Gs [\mu_g / (\mu_s + \mu_g)]^{0,5} \quad (23.15)$$

bunda gaz fazasi uchun:

$$Nu'_g = \beta_{gf_t} l / (F_{s.o} D_g); \quad Pe'_g = wl / (\varepsilon D_g)$$

suyuq faza uchun:

$$Nu'_s = \beta_{sf_t} l / D_s; \quad Pe'_s = Ul / [(1 - \varepsilon) D_s]$$

bu yerda  $A$  – koeffitsiyent;  $Gs = \Delta P / (\rho_s g l)$  – tarelkadagi massa uzatishning solishtirma yuzasi nisbiy kattaligini xarakterlovchi gidravlik qarshilik mezoni;  $\Delta P = \rho_s g h_0$  – tarelkadagi gaz-suyuqlik qatlamining gidravlik qarshiligi;  $h_0$  – tarelkadagi toza suyuqlik qatlamining balandligi;  $Pe'_g$  va  $Pe'_s$  – gaz va suyuq faza uchun Peklening diffuzion mezoni;  $l$  – xarakterli chiziqli o'lcham, u pufakning yoki barbotaj qatlamidagi gazli oqimning o'rtacha diametriga teng;  $\varepsilon$  – barbotaj qatlamidagi gaz miqdori.

Tarelkalarining haqiqiy soni aniqlangandan so'ng, absorberning balandligi aniqlanadi:

$$H = n_h H_t + h_{yu} = n(h_b + H_{s.b}) + h_{yu} + h_q \quad (23.16)$$

bu yerda  $h_{yu}$  – yuqori tarelkadan absorber qopqog'igacha bo'lgan masofa va  $h_q$  – absorber tubi va quyi tarelka orasidagi masofa, ular konstruktiv xususiyatlardan qabul qilinadi;  $H_{s.b}$  – separatsiyalash bo'shlig'ining balandligi.

**Gidravlik qarshilik.** Sug'oriluvchi tarelkalar uchun  $\Delta P_t$  uchta tashkil etuvchining yig'indisi kabi aniqlanadi:

$$\Delta P_t = \Delta P_{q,t} + \Delta P_\sigma + \Delta P_{g-s}$$

bu yerda  $\Delta P_{q,t}$  – quruq tarelkaning qarshiligi;  $\Delta P_\sigma$  – suyuqlikning sirtiy taranglik kuchlari ta'sirida yuzaga keladigan qarshilik;  $\Delta P_{g-s}$  – tarelkadagi gaz-suyuqlik qatlamining qarshiligi.

$\Delta P_{q,t}$  qiymat quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta P_{q,t} = \xi (w_t^2 \rho_g / 2)$$

bu yerda  $w_t = w / F_{s.o}$  – tarelka teshigida yoki tirqishidagi gazning tezligi.

Tarelkalarining qarshilik koeffitsiyenti  $\xi$  katta oraliqda o'zgaradi (taxminan 0,5÷4 oraliqda) va tarelka konstruksiyasiga bog'liq.

Suyuqlikning sirtiy tarangligini yengishga sarflangan bosim yo'qotilishi  $\Delta P_\sigma$  quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta P_\sigma = 4\sigma / d_e \quad (23.17)$$

Agar tarelka oqimchali rejimda ishlasa, u holda  $\Delta P_{\sigma}$  qiymatni inobatga olmasa ham bo'ladi.

Tarelkadagi gaz-suyuqlik qatlamining gidravlik qarshiligi  $\Delta P_{g-s}$  qatlamning statik bosimiga teng qabul qilinadi:

$$\Delta P_{g-s} = h_{g-s} \rho_{g-s} g = h_0 \rho_s g \quad (23.18)$$

bu yerda  $h_0$  va  $h_{g-s}$  – tarelkadagi suyuqlik va gaz-suyuqlik qatlamining balandligi;  $\rho_s$  va  $\rho_{g-s}$  – tarelkadagi suyuqlik va gaz-suyuqlik aralashmasining zichligi.

#### 23.4. Desorbsiya.

Absorberdan chiqib ketayotgan suyuq yutuvchi tarkibidagi erigan gazlarni ajratib olish jarayoni *desorbsiya* deb ataladi. Desorbsiya jarayonining asosiy maqsadi ishlatilgan absorbentni regeneratsiya qilish hamda yutilgan gazni haydash yoki rektifikatsiya usuli bilan ajratib olishdan iboratdir.

Sanoatda desorbsiyaning turli usullari qo'llaniladi. Aralashmaning tabiatiga ko'ra desorbsiyaning u yoki boshqa usuli tanlab olinadi. Masalan, bug'-gaz aralashmasida atseton suv yordamida absorbsiya yo'li bilan ajratib olingandan so'ng, suyuqlik tarkibidagi atseton rektifikatsiya yordamida ajratib olinadi.

Suyuqlikka yutilgan komponent quyidagi usullarda desorbsiya qilinadi: 1) inert gaz yoki suv bug'i yordamida ajratib olinadi; 2) absorbentga issiqlik berish bilan ajratib olinadi; 3) absorbsiya jarayonidan keyin absorbentning bosimini kamaytirish natijasida ajratib olinadi.

**Inert gaz yoki suv bug'i yordamida ajratib olish.** Bu usulda yutilgan gazni desorbsiya qilish uchun inert gaz yoki suv bug'i ishlatiladi. Bunda inert gaz yoki suv bug'i suyuqlik bilan bevosita bir-biriga ta'sir qiladi. Taqsimlanayotgan komponentning parsial ishchi bosimi suyuqlik ustidan desorbsiya qilinayotgan tashuvchi bosimiga qaraganda yuqori bo'lgani uchun bu komponent suyuqlikdan gaz oqimiga yoki suv bug'iga o'tadi. Yutilgan gazni suyuqlikdan butunlay ajratib olish uchun desorbsiya jarayoni inert gaz va suv bug'i ta'sirida qarama-qarshi yo'nalishda yoki nasadkali kolonnalarda olib boriladi. Inert gaz sifatida havo ishlatiladi, yutilgan gaz esa u bilan aralashib ketadi. Bunday desorbsiya usuli gaz aralashmasidan ajratib olinadigan komponent boshqa maqsadlarda ishlatilmagan hollarda qo'llaniladi.

**Absorbentga issiqlik berish yo'li bilan yutilgan gazni ajratib olish.** Desorberga issiqlik berilganda, masalan, u suv bug'i bilan isitilganda, suyuqlikda desorbsiya qilinayotgan komponent bilan absorbentning ham bir qismi bug'lanadi. Hosil bo'lgan aralashmalardan kerakli komponentni ajratib olish uchun rektifikatsiya jarayoni qo'llaniladi.

**Absorbentning bosimini kamaytirib gazni ajratib olish.** Bu desorbsiya usuli juda oddiy bo'lib, absorbsiya jarayoni atmosfera bosimidan yuqori bosimlarda olib borilganda kolonnadagi bosimni atmosfera bosimigacha kamaytirish natijasida yutilgan gaz desorbsiya qilinadi. Agar absorbsiya jarayoni atmosfera bosimida olib borilsa, u holda desorbsiya qilinuvchi komponent vakuum-nasos yordamida tortib olinadi. Eritma tarkibidagi desorbsiya qilinadigan komponentni butunlay ajratib olish uchun ko'pincha desorbsiya jarayonlari issiqlik berish bilan birgalikda past bosim ostida olib boriladi.

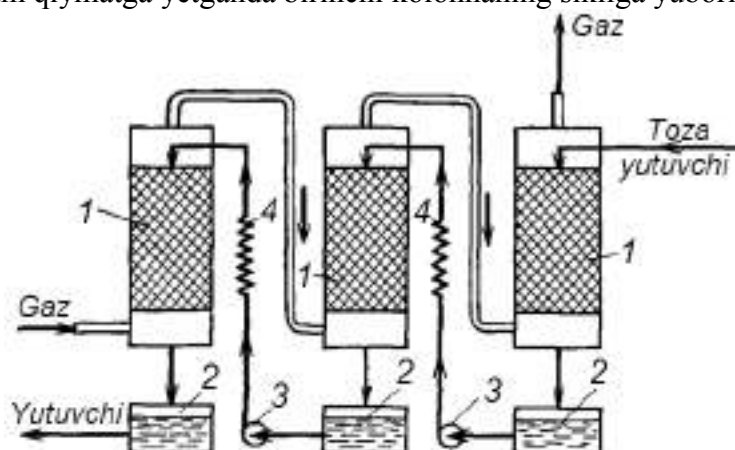
#### 23.5. Absorbsion qurilmalarning sxemalari.

Absorbsiya qurilmalari ishlash rejimiga ko'ra davriy va uzluksiz bo'ladi. Kichik hajmli ishlab chiqarishlarda faqat davriy ishlaydigan absorbsiya qurilmalari ishlatiladi. Zamonaviy sanoat korxonalarida ko'pincha uzluksiz ishlaydigan qurilmalardan foydalaniladi. Gaz va suyuq fazalarning yo'nalishiga ko'ra, qarama-qarshi va to'g'ri yo'nalishli absorbsiya qurilmalari mavjud. Absorbsiya qurilmalari ish prinsipiga asosan bir va ko'p pog'onali, retsirkulyatsiyali va regeneratsiyali bo'ladi.

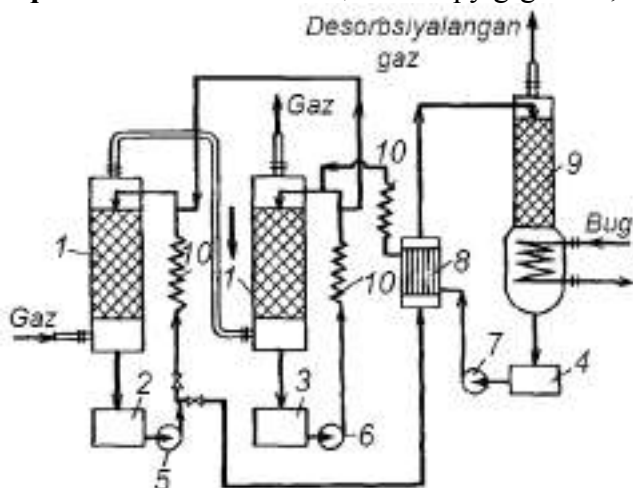
23.1-rasmda uchta absorber ketma-ket ulangan qarama-qarshi yo'nalishli qurilmaning sxemasi ko'rsatilgan. Qurilma tarkibiga absorberlardan tashqari eritma yig'gichlar, eritmani haydash uchun markazdan qochma nasoslar va eritmani sovitish uchun issiqlik almashinuv qurilmalari kiradi. Yutuvchi suyuqlik gazning yo'nalishi bo'yicha oxirgi absorberga beriladi, yuqoridan pastga oqib, qabul qiluvchi yig'gichga tushadi va nasos yordamida sovitgich orqali oldingi absorberga yuboriladi. Shunday qilib, gaz va suyuqlikning qarama-qarshi yo'nalishdagi o'zaro ta'siri yuz beradi.

Suyuqlikning to'la darajadagi to'yinishini amalga oshirish uchun hamda eritmadan yutilgan komponentni toza holda ajratib olish maqsadida retsirkulyatsiyali absorbsiya – desorbsiya qurilmasi ishlatiladi (23.2-rasm). Bunday qurilma gaz yo'nalishi bo'yicha ketma-ket joylashgan ikkita absorber, eritmalar uchun yig'gichlar, nasoslar, sovitgichlar, issiqlik almashinuvi qurilmasi va desorbsiya kolonnasidan tashkil topgan. Ifloslangan gaz gazning yo'nalishi bo'yicha birinchi kolonnaga beriladi,

suyuqlik absorberning yuqori qismidan beriladi, bu yerda gaz bilan suyuqlik uzluksiz kontaktga uchraydi. Ushbu qurilmada suyuqlik chegaralangan sikl bo'yicha harakat qiladi. Birinchi kolonnada qisman tozalangan gaz ikkinchi kolonnaga yo'naltiriladi. Ikkinchi kolonna ham suyuqlik bilan chegaralangan sikl bo'yicha ta'minlab turiladi. Ikkinchi kolonnaga berilayotgan eritmaning konsentratsiyasi ma'lum qiymatga yetganda birinchi kolonnaning sikliga yuboriladi.



**23.1-rasm. Absorberlar ketma-ket ulangan va suyuqlik oraliq sovitiluvchi qarama-qarshi oqimli ko'p pog'onali absorber qurilmasi:** 1-absorberlar; 2-oraliq yig'gichlar; 3-nasoslar; 4-sovitgichlar.



**23.2-rasm. Yutuvchi regeneratsiyalanadigan va suyuqlik pog'onalar bo'yicha retsirkulyatsiyalanuvchi qarama-qarshi oqimli ko'p pog'onali absorbsiya qurilmasi:** 1-absorberlar; 2-4-yig'gichlar; 5-7-nasoslar; 8-issiqlik almashinuv qurilmasi; 9-desorber; 10-sovitgichlar.

Shunday qilib, eritmaning konsentratsiyasi birinchi kolonnadan ikkinchi kolonnaga o'tganda ko'payadi va birinchi kolonnaning siklida konsentratsiya ancha yuqori bo'lgan eritma hosil bo'ladi. Ushbu eritma issiqlik almashinuv qurilmasida isitilib desorbsiya kolonnasiga yuboriladi. Desorberda suyuqlikda yutilgan komponent issiqlik ta'sirida bug'latiladi. Toza suyuqlik issiq erituvchi yig'gichga tushadi. Nasos yordamida issiqlik almashinuv qurilmasi sovitgich orqali ikkinchi kolonnaning sikliga qaytiriladi. Desorbsiya qilingan gaz esa qurilmaning b'qori qismidan uzatiladi. Ushbu qurilmada suyuqlik retsirkulyatsiya qilinadi va faqat ayrim yo'qotilishlarni qoplash uchun kam miqdordagi toza erituvchi qo'shib turiladi, erigan komponent esa toza holda hosil bo'ladi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Absorberlarni hisoblashning umumiy tartibi qanday?
2. Plyonkali absorberlarni hisoblashni tushuntiring?
3. Nasadkali absorberlarni hisoblashni tushuntiring?
4. Tarelkali absorberlarni hisoblashni tushuntiring?
5. Absorbsiya qurilmalari ulanish sxemalarini tushuntiring?
6. Desorbsiya jarayonlarini tushuntiring.

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b><br>24.1. Umumiy ma'lumot.<br>24.2. Adsorbentlarning xarakteristikasi.<br>24.3. Aktivlangan ko'mir.<br>24.4. Silikagel. Seolit.<br>24.5. Ionitlar.                                                                                                            |                                                                    |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                      | Adsorbsiya va adsorbentlar to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b><br>- adsorbentlarning xarakteristikasi to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- aktivlangan ko'mir to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- silikagel to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- ionitlar to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                                    |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                    |
| <b>Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                           |                                                                    |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                    |
| <b>Tayanch iboralar:</b> adsorbent, adsorbsiya, aktiv ko'mir, silikagel, seolit, ionit.                                                                                                                                                                                             |                                                                    |

## 24.1. Umumiy ma'lumot.

Gaz yoki suyuq faza tarkibidagi bir yoki bir nechta komponentlarni qattiq jism (adsorbent) yordamida yutilish jarayoni *adsorbsiya* deb ataladi. Gaz yoki ssuyuq faza tarkibida bo'lib, adsorbsiya vaqtida yutilayotgan modda *adsorbent* deb ataladi. Adsorbent tarkibiga yutilib bo'lgan modda esa *adsorbat* deyiladi.

Adsorbsiya jarayoni sanoatda gazlarni tozalash va quritish, eritmalarni tozalash va tindirish hamda gaz va bug' aralashmalarini ajratish uchun ishlatiladi. Masalan, havo va boshqa gazlar aralashmalaridan uchuvchan erituvchilarni ajratish, ammiakni konakt qurilmaga berishdan oldin tozalash, tabiiy gazni quritish, koks gazidan aromatik uglevodorodlarni ajratish, plastmassa va sintetik kauchuk ishlab chiqarishlarida adsorbsiya keng ishlatiladi. Bu usul yordamida xom-ashyo va mahsulotlarning sifatini ham yaxshilash mumkin.

Sanoat gazlarini  $SO_2$ ,  $CS_2$ ,  $NO_2$ ,  $NO$  va boshqa shu kabi birikmalardan adsorbentlar yordamida tozalash atrof-muhitni muhofaza qilishga xizmat qiladi.

Adsorbsiya jarayonlari odatda desorbsiya jarayonlari bilan chambarchas bog'langan bo'ladi. Adsorbent tarkibidagi yutilgan moddani ajratib chiqarish va uni adsorbsiya jarayonida qaytadan ishlatish desorbsiya deyiladi.

Qattiq jismning yuzasiga ta'sir qilayotgan kuchlarning tabiatiga ko'ra adsorbsiya ikki xil bo'ladi: fizik adsorbsiya va xemosorbsiya. Fizik adsorbsiya molekuoyar kuchlarning o'zaro ta'sir etishiga asoslangan. Xemosorbsiya esa kimyoviy kuchlarning o'zaro ta'sirlanishi orqali yuz beradi.

Yutilish jarayonlari qatoriga ion almashinuv ham kiradi. Ion almashinuv qattiq jism va suyuqlik o'rtasida yuz beradigan murakkab diffuzion jarayon hisoblanadi. Bu jarayonda qattiq jism (ionit yoki ion almashtirgich) o'zining tarkibidagi ionlarni eritmadagi tegishli ionlar bilan almashtiradi. Masalan, tabiiy birikmalar qatoriga kiran alyumosilikatlarning kristall panjarasi tarkibidagi  $K$ ,  $Na$ ,  $Ca$  metall ionlari eritmada bo'lgan boshqa kationlar bilan o'rin almashinishi mumkin. shunday qilib, eritma tarkibidan ajratib olinishi lozim bo'lgan ion adsorbentda yutiladi va so'ngra regeneratsiya yo'li bilan ajratiladi.

Suyuqlik aralashmalarini ion almashinuv yo'li bilan ajratish energetika, kimyo, neft kimyosi, oziq-ovqat sanoati va boshqa sohalarda ishlatiladi.

#### **24.2. Adsorbentlarning xarakteristikasi.**

Sanoat miqyosida ishlatiladigan adsorbentlar quyidagi talablarga javob berishi kerak: 1) tanlovchanlik – aralashma tarkibidagi tegishli komponentni yutib olish va boshqa komponentlarga esa ta'sir qilmaslik; 2) maksimal adsorbsion hajm yoki aktivlik – adsorbentning massa yoki hajm birligida yutilgan adsorbtiivning miqdori; 3) adsorbentni regeneratsiya qilish vaqtida yutilgan moddaning to'la ajralib chiqishi; 4) adsorbent granularining buzilib ketishi jarayonning gidrodinamik holatini yomonlashtiradi; 5) yutilayotgan moddalarga nisbatan kimyoviy inertlikka ega bo'lishlik; 6) narxi arzon.

Adsorbentning tanlovchanligi va uning adsorbsion hajmi adsorbent va adsorbtiivning tabiatiga va molekularining tuzilisha bog'liq bo'ladiyu bunda adsorbentning solishtirma yuzasi (massa yoki hajm birligidagi adsorbentning yuzasi) va adsorbent g'ovaklarining o'lchamlari muhim ahamiyatga ega. Bu ikkala kattalik bir-biri bilan uzviy bog'langan. G'ovaklarning o'lchamlari qanchalik kichik bo'lsa, adsorbentning solishtirma yuzasi shunalik katta bo'ladi. Bu holat adsorbent faolligini kuchaytiradi.

Adsorbentning faolligi adsorbsiya jarayonining shart-sharoitlari (harorat, bosim, adsorbtiivning muhitdagi konsentratsiyasi) ga ham bog'liq bo'ladi. Haroratning kamayishi, bosimning ko'payishi (gaz va bug'lar uchun) va aralashmadagi kerakli komponentlar konsentratsiyasining ortishi bilan adsorbentning faolligi kuchayadi.

Adsorbentlar zarracha ichidagi kapillyar kanallarining kattaligiga qarab shartli ravishda makro, oraliq va mikrog'ovakli bo'ladi. Makrog'ovakli adsorberlarning kapillyar kanallarining samarali radiuslari  $2 \cdot 10^{-7}$  m dan katta, oraliq g'ovaklarniki  $1,5 \cdot 10^{-9}$  m dan  $(1 \div 2) \cdot 10^{-7}$  m gacha, mikrog'ovaklariniki esa  $5 \cdot 10^{-10} \div 1 \cdot 10^{-9}$  m bo'ladi.

Adsorbsiya jarayonining xususiyati adsorbent g'ovaklarining kattaligi bilan xarakterlanadi. Makrog'ovakli adsorbentlarning solishtirma yuzasi kichik bo'lgani uchun bunday adsorbentning devorlarida juda kam miqdorda modda yutiladi. Makrog'ovakli adsorbentlarda yutilayotgan molekular ularning kanallari orqali uzatiladi.

Oraliq g'ovakli adsorbentlarning yuzasida adsorbsiya jarayoni davomida yutilayotgan modda molekularining kattaligi g'ovak teshiklaridan kichik bo'lgani uchun, yutilayotgan modda qatlami hosil bo'ladi.

Mikrohovakli adsorbentlarda teshiklarning kattaligi yutilayotgan molekularning kattaligiga teng bo'lib, adsorbsiya davomida mikrog'ovaklarning hajmlari yutilayotgan molekular bilan to'g'ri bo'ladi.

Adsorbentning yuzasida yutilayotgan modda molekularining soniga nisbatan bir yoki ko'p molekular qatlami hosil bo'ladi. Bu jarayon mono yoki polimolekulali adsorbsiya deyiladi.

Adsorbentlar o'z aktivligidan qat'i nazar zichligi, ekvivalent diametri, uyilgan zichligi, mexanik mustahkamligi, granulometrik tarkibi, solishtirma yuzasi, g'ovakli, qatlamdagi erkin haji va boshqa kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Sanoatda adsorbent sifatida aktivlangan ko'mir, qattiq g'ovaksimon moddalar, silikagel, selluloza, seolitlar, tuproq jinslari, ion almashinuvchi sun'iy smolalar (monitlar) ishlatiladi.

#### **24.3. Aktivlangan ko'mir.**

Aktivlangan ko'mirlar odatda tarkibida uglerod bor yog'och, torf, hayvonlar suyagi, toshko'mir kabi mahsulotlarni quruq haydash yo'li bilan olinadi. Ko'mir faolligini oshirish uchun unga  $900^{\circ}\text{C}$  dan ortiq haroratda havosiz termik ishlov beriladi. Bunda, material kovaklaridagi smolalar ekstragent yordamida ekstraksiya qilib olinadi. Aktivlangan ko'mirning asosiy ko'rsatkichlari ularning turiga qarab quyidagi chegaralarda o'zgaradi: solishtirma yuza  $600-1700 \text{ m}^2/\text{g}$ , mikrog'ovaklarning hajmi  $0,3 \div 0,6 \text{ sm}^3/\text{g}$ , uyilgan zichlik  $380-600 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Bunday ko'mirlar o'lchami  $1 \div 7 \text{ mm}$  ga teng bo'lgan granula yoki o'lchami  $0,15 \text{ mm}$  dan kam bo'lgan kukun holatida ishlatiladi.

Aktivlangan ko'mirning tarkibi bir xil, yaxshi regeneratsiya qilinish qobiliyatiga ega, shu sababdan bunday adsorbentlarni ko'p marotaba ishlatish imkoniyati mavjud. Biroq kamchiliklardan holi emas: narxi qimmat, yonuvchan. Aktivlangan ko'mir havoda  $300^{\circ}\text{C}$  haroratda yonadi. Ko'mir changlari esa  $200^{\circ}\text{C}$  ga yaqin haroratda yonadi va konsentratsiyasi  $17 \div 24 \text{ g}/\text{sm}^3$  bo'lsa, havodagi kislorod bilan portlovchi birikma hosil qiladi.

Adsorbsiya jarayonida tozalashning samaradorligi adsorbentning g'ovaksimon tuzilishiga bog'liq bo'lib, bunda mikrog'ovak asosiy rol o'ynaydi. Aktivlangan ko'mirlar adsorbsion bo'shlig'ining chegaraviy hajmi  $0,3 \text{ sm}^3/\text{g}$  bo'lganda tozalash jarayonida qo'llash tavsiya etiladi. Ma'lumki,

mikrogʻovaklar oʻlchami katalitik reaksiyalar tezligini belgilaydi. Mikrogʻovak oʻlchami  $0,8 \div 1$  mkm boʻlgan aktivlangan koʻmirlar optimal hisoblanadi. Ayrim hollarda aktivlangan koʻmirlar tozalash bilan birga hid, yoqimsiz taʼm, kolloid va boshqa qoʻshimcha aralashmalarni ham yoʻqotadi.

#### **24.4. Silikagel. Seolit.**

Silikagellar kremniy ikki oksidini termik va kimyoviy qayta ishlash yoʻli bilan olinadi. Ushbu adsorbentlar natriy silikat eritmalariga kislota yoki ular tuzlarining eritmalarini taʼsiri natijasida olinadi. Silikagellarning gʻovaklik darajasi ancha katta: solishtirma yuzasi  $300 \div 750 \text{ m}^2/\text{g}$ ; hovaklarning hajmi  $0,28 \div 0,9 \text{ sm}^3/\text{g}$ ; uyilgan zichlik  $500 \div 800 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Silikagel graunlari 7 mm gacha boʻlishi mumkin. silikagellar asosan suv bugʻini yutish va gazlarni quritish uchun qoʻllaniladi. Bu adsorbent bir qator muhim afzalliklarga ega: silikagelni olish jarayonida hohlagan tarkibga erishish mumkin; regeneratsiya past harorat ( $100 \div 200^\circ\text{C}$ ) da olib boriladi; yonish qobiliyatiga ega emas, mustahkam, tannarxi arzon.

Seolitlar – tabiiy va sunʼiy mineral holatida boʻlib, alyumosilikatning suvli birikmasi. Ushbu adsorbent suvda va organik eritmalarda eriydi. Sunʼiy seolit gʻovaklari oʻlchami sorbsiyalanayotgan molekula oʻlchamiga yaqin boʻlgani uchun, gʻovaklarga kirayotgan molekulalarni adsorbsiya qila oladi. Bu turdagi seolitlar molekulyar elaklar deb ataladi. Seolitlar yuqori tanlovchanlikka ega. Seolitlar suyuqliklarni tozalash uchun mayda kristall kukun sifatida, gazlarni tozalash uchun esa sharsimon yoki granulalar holida ishlatiladi. Seolitlarni suvni yutish qobiliyati katta boʻlganligi sababli ular gazlarni quritishda hamda suyuqlik va gazlarni tozalash uchun ishlatiladi. Seolitning tarkibiga yutilgan suv juda harakatchandir, bu suv qizdirish orqali yoʻqotiladi va bu adsorbent soviganidan keyin qaytadan suvni yutish qobiliyatini tiklaydi. Seolit donachalarining kattaligi  $2 \div 5$  mm, uyilish zichligi esa  $600 \div 800 \text{ kg}/\text{m}^3$  boʻladi. Seolitlarning yutish qobiliyati gʻlvaklarning solishtirma yuzasi bilan emas, balki gʻovaklarni adsorbat bilan hajmiy toʻldirish qiymati bilan belgilanadi ( $0,2 \div 0,25 \text{ sm}^3/\text{g}$ ).

#### **24.5. Ionitlar.**

Ionitlar tabiiy va sunʼiy holatda anorganik va organik birikmalar tarzida boʻlishi mumkin. sanoatda koʻpincha zarrachalari sferik shaklda boʻlgan ion almashinuvchi smolalar (ionitlar) issiqlik va gidroelektrostansiyalarda suvlarni yumshatish hamda har xil ionlardan tozalashda, sanoatning chiqindi suvlaridan qimmatbaho moddalarni ajratib olishda va boshqa maqsadlarda keng ishlatiladi. Ionitlar yuqori molekulyar polimer birikmalar boʻlib, oʻz tarkibidagi harakatchan ionlarini ekvivalent miqdorda elektrolit eritmalaridagi ionlarga almashtirib, eritmada bir xil zaryadli ionlarni yutish qobiliyatiga ega boʻlgan adsorbentlar hisoblanadi. Ionitlar amaliy jihatdan suvda va oddiy eritmalarda erimaydi.

Ionitlar faol guruhlarining, yaʼni harakatchan ionlarining kislotali va asosli boʻlishiga qarab ikki turga: kationitlar va anionitlarga boʻlinadi. Kationitlar harakatchan ionlarini kationlarga, anionitlar esa anionlarga almashtiradi. Bundan tashqari amfoter xususiyatiga ega boʻlgan ionitlar ham boʻlib, bular bir vaqtning oʻzida oʻzining harakatchan ionlarini kationga yoki anionga almashtirishi mumkin. Ionitlar ion almashinuv sigʻimiga, eritmalaridagi ionlarni tanlab yutish xususiyatiga ega hamda mexanik mustahkam va kimyoviy barqaror boʻladi.

Sanoatda ionitlar turli shaklda – kukun, dona, granula, ip, plyonka holatida ishlab chiqariladi. Katta donali ionitlarning oʻlchami  $0,3 \div 2$  mm, kukun holatidagi ionitlarning oʻlchami  $0,004 \div 0,07$  mm boʻladi. Katta donali ionitlar ishlatilganda zich qatlamning balandligi  $1 \div 3$  m, kukunsimon boʻlganda esa  $0,003 \div 0,01$  m gacha boradi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Adsorbsiya jarayoni sanoatda nima maqsadlarda ishlatiladi?
2. Adsorbsiya jarayoni necha turga boʻlinadi?
3. Adsorbsiya va adsorbsiya oʻrtasida nima farq bor?
4. Ion almashinuv nima sababdan adsorbsiya jarayonlariga qoʻshiladi?
5. Ion almashinuv jarayonini amalga oshirish uchun qanday adsorbentdan foydalaniladi?
6. Sanoatda qanday turdagi adsorbentlar ishlatiladi?
7. Adsorbentlarni tanlashda qanday koʻrsatkichlar inobatga olinadi?
8. Zarracha ichidagi kapillyar kanallarning oʻlchamlariga koʻra adsorbentlar necha turga boʻlinadi?
9. Adsorbentlarning xossalarini oʻrganishda qanday kattaliklar ishlatiladi?

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b><br>25.1. Adsorbsiya jarayonining muvozanati.<br>25.2. Adsorbsiyada massa uzatish.<br>25.3. Desorbsiya.<br>25.4. Davriy harakatli adsorberni hisoblash.<br>25.5. Uzlüksiz harakatli adsorberni hisoblash.                                                                                                                                                                            |                                                                |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Adsorbsiya jarayonlari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabning o'quv faoliyati natijalari:</b><br>- adsorbsiya jarayonining muvozanati to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- adsorbsiyada massa uzatish to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- desorbsiya to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- davriy harakatli adsorberni hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi;<br>- uzluksiz harakatli adsorberni hisoblash to'g'risida tushunchalar beriladi |                                                                |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                |
| <b>Maksimal ball:</b> 2 b. <b>Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                |
| <b>Tayanch iboralar:</b> adsorbsiya, adsorbent, desorbsiya, adsorber, adsorbsion muvozanat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                |

## 25.1. Adsorbsiya jarayonining muvozanati.

Adsorbsiya vatidagi muvozanat adsorbentning masa yoki hajm birligida yutilgan modda miqdorining harorati hamda yutilishi kerak bo'lgan moddaning bug'-gaz aralashmasidagi konsentratsiyasiga bog'liqligi bilan xarakterlanadi.

Adsorbsiyadagi muvozanat konsentratsiyalari o'rtasidagi bog'liqlik quyidagicha ifoda qilinadi:

$$\bar{X}^* = f(\bar{Y}, T) \quad (25.1)$$

Agar harorat o'zgarmas bo'lsa:

$$\bar{X}^* = \varphi(\bar{Y}) \quad (25.2)$$

bu yerda  $\bar{X}^*$  - gaz yoki suyuqlik fazasidagi adsorbtivning konsentratsiyasi bilan muvozanatda bo'lgan yutilayotgan komponentning adsorbentdagi nisbiy massaviy ulushi, kg adsorbtiv/kg adsorbent;  $\bar{Y}$  – gaz yoki suyuqlik fazasidagi adsorbtivning nisbiy massaviy ulushi, kg adsorbtiv/kg yoki suyuqlik fazasining tashuvchisi.

Adsorbtivning tarkibi  $\bar{Y}$  ni uning bug'-gaz aralashmasidagi parsial bosimi orqali ifodalash mumkin:

$$\bar{X}^* = f'(P) \quad (25.3)$$

Umuman olganda  $\bar{X}^* = \varphi(\bar{Y})$  va  $\bar{X}^* = f'(P)$  bog'liqliklar adsorbsiya vaqtidagi muvozanat chiziqlarini yoki adsorbsiya izotermalarni ifoda qiladi. Adsorbsiya izotermasi g'ovaksimon qattiq jismlarning adsorbsion xossalarni belgilaydigan muhim xarakteristikasi hisoblanadi. Izotermaning aniq shakli adsorbet va yutilayotgan moddaning xossalarga va ular o'rtasidagi o'zaro ta'sir qilish kuchlariga bog'liq bo'ladi.

$\bar{X}$  ning qiymati adsorbsiya kattaligi  $a$  bilan,  $\bar{Y}$  ning qiymati esa bug'-gaz aralashmasidagi parsial bosim bilan almashtirilishi mumkin.

Adsorbsiya jarayonining moddiy balansi uning davriy yoki uzluksiz rejimda olib borilishiga qarab tuziladi. Odatda jarayon uzluksiz ravishda olib borilganda qarama-qarshi oqimlardan foydalaniladi. Bunday jarayon uchun moddiy balans tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$L(a_{ox} - a_b) = G(C_b - C_{ox}) \quad (25.4)$$

bu yerda  $L$  – adsorbentning sarfi;  $G$  – tashuvchi gazning sarfi;  $a_b$  va  $a_{ox}$  – yutilayotgan moddaning adsorbentdagi boshlang‘ich va oxirgi tarkibi;  $C_{ox}$  – yutilayotgan moddaning adsorbsiya vaqtida chiqib ketayotgan gazlardagi o‘rtacha tarkibi;  $C_b$  – adsorbentning tashuvchi gazdagi tarkibi.

Adsorbsiya jarayoni issiqlik ajralishi bilan boradi. Ajralib chiqqan issiqlik tizimidagi haroratning ko‘tarilishiga olib keladi. Ushbu issiqlikning miqdori oqimning massaviy tezligi, uning issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanligiga hamda adsorbentning fizik xarakteristikalariga, atrof-muhitga yo‘qolgan issiqlik miqdori va adsorbsiya jarayoni amalga oshirilganida ajralib chiqqan issiqlikni sarflaydigan qurilmadan foydalaniladi.

### 25.2. Adsorbsiya jarayonining kinetikasi.

Adsorbsiya jarayonidagi massa uzatish ikki bosqichdan iborat bo‘ladi: tashqi diffuziya va ichki diffuziya. Tashqi diffuziya tezligi asosan jarayonning gidrodinamik holati bilan, ichki diffuziyaning tezligi esa adsorbentning tuzilishi va adsorbsion tizimning fizik-kimyoviy xossalari bilan xarakterlanadi.

Tashqi massa uzatishning tezligi quyidagi bog‘liqlik bilan aniqlanadi:

$$\frac{da}{d\tau} = \beta(C - C_{yu}) \quad (25.5)$$

bu yerda  $a$  – yutilgan moddaning miqdori;  $\tau$  – vaqt;  $\beta$  – adsorbentning hajm birligiga nisbatan olingan massa berish koeffitsiyenti;  $C$  – yutilayotgan komponentning bug‘-gaz aralashmasi hajmidagi konsentratsiyasi;  $C_{yu}$  – yutilayotgan komponentning adsorbent yuzasidagi konsentratsiyasi.

Ichki massa uzatishning tezligi esa molekulyar diffuziya tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dc}{d\tau} = D_s \left( \frac{d^2c}{dx^2} + \frac{d^2c}{dy^2} + \frac{d^2c}{dz^2} \right) \quad (25.6)$$

bu yerda  $D_s$  – diffuziyaning samara koeffitsiyenti.

Ushbu tenglamani integrallash uchun boshlang‘ich va chegara shartlarini hisobga olish kerak. Odatda jarayon davomida  $D_s$  ning qiymati o‘zgarmas deb olinadi.

Adsorbent donasining ichidagi massa berishning tezligi tashqi diffuziya orqali massa berishning tezligiga nisbatan anchagina kam bo‘ladi, shu sababdan ko‘pincha yutilayotgan moddaning adsorbent donasi yuzasidagi konsentratsiyasini adsorbentning aralashma hajmidagi konsentratsiyaga teng deb olinadi.

Kinetik koeffitsiyent hisoblangan  $\beta$  ni aniqlash uchun adsorbsiyaning kinetikasini ifodalaydigan quyidagi mezonli tenglamadan foydalaniladi:

$$Nu' = A Re^m (Pr')^n \quad (25.7)$$

bu yerda  $Nu'$  va  $Pr'$  – Nusselt va Prandtl diffuzion mezoni;  $Re$  – Reynolds mezoni;  $A$ ,  $m$  va  $n$  – tajriba yo‘li bilan aniqlaniladigan doimiy qiymatlar.

Masalan, aktiv ko‘mir yordamida bug‘larni adsorbsiyalash uchun ( $d_e = 1,7 \div 2,2$  mm,  $\omega_r = 0,3 \div 2$  m/s) mezonli tenglama quyidagi aniq ko‘rinishni egallaydi:

$$Nu' = 1,6 Re^{0,54} \quad (25.8)$$

bu yerda  $Nu' = \frac{\beta d_z^2}{D}$ ;  $Re = \frac{\omega_{b,g} d_z}{\nu_{b,g}}$ ,  $D$  – jarayonning harorati bo‘yicha adsorbentning gazdagi diffuziya koeffitsiyenti;  $d_z$  – adsorbent zarrachalarining o‘rtacha diametri;  $\omega_{b,g}$  – qurilmaning bo‘sh kesimiga nisbatan hisoblangan bug‘-gaz aralashmasining tezligi;  $\nu_{b,g}$  – gazning kinematik qovushqoqligi.

(25.8) tenglamadan adsorbsiyaning kinetik koeffitsiyenti  $\beta$  topiladi:

$$\beta = \frac{1,6 D \omega_{b,g}^{0,54}}{\nu_{b,g}^{0,54} d_z^{0,46}} \quad (25.9)$$

Hohlaman harorat va bosim qiymatlarida diffuziya koeffitsiyenti  $D$  quyidagi tenglama bo‘yicha hisoblanadi:

$$D = D_0 \left( \frac{P_0}{P} \right) \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \quad (25.10)$$

### 25.3. Desorbsiya.

Yuqori faollikka ega bo‘lgan adsorbentlar qimmatbaho materiallar qatoriga kiradi, shu sababli ulardan bir necha marotaba foydalanish maqsadga muvofiqdir. Buning uchun adsorbsiya jarayonidan so‘ng adsorbent regeneratsiya qilinadi, ya‘ni unda yutilgan modda ajratib chiqariladi. Adsorbsiyaga teskari bo‘lgan jarayon *desorbsiya* deb ataladi.

Adsorbent quyidagi usullar yordamida regeneratsiya qilinishi mumkin: 1) adsorbentning haroratini ko'paytirish yoki uning ustidagi bosimni kamaytirish; 2) adsorbent qatlamidan isitilgan gaz yoki qizdirilgan bug'ni haydash; 3) adsorbentda yutilgan komponentlarni adsorbsion xossasi yuqori bo'lgan boshqa modda yordamida siqib chiqarish.

Harorat qancha yuqori bo'lsa desorbsiya jarayoni shuncha tez va to'la boradi. Haroratni to'g'ri tanlash katta ahamiyatga ega. Tanlangan harorat yutilgan komponentlarni adsorbentdan to'la ajratib chiqarishni va adsorbentning o'ta qizib, parchalanib ketmasligini ta'minlashi zarur. Regeneratsiya vaqtida adsorbentning faolligi biroz kamayadi.

Yuqori haroratlarda oson parchalanib ketadigan moddalarni desorbsiya qilishda siqib chiqarish usulini qo'llanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunday usuldan harorat  $40\div 80^{\circ}\text{C}$  bo'lganda foydalanish yaxshi samara beradi.

Har bir sharoit uchun tegishli harorat chegaralari qabul qilinadi. Masalan, gazlarni seolitlar yordamida quritilgandan so'ng, desorbsiya jarayoni (namlikni adsorbentdan ajratib chiqarish) ni amalga oshirish uchun harorat  $300\div 400^{\circ}\text{C}$  dan ortmasligi kerak.

Adsorbentni to'la regeneratsiya qilish uchun desorbsiyadan keyin adsorbentni quritish va so'ngra sovitish zarur. Shundan so'ng adsorbsiyaning yangi siklini boshlash mumkin.

Desorbsiya jarayoni adsorbsiyaga ko'ra ancha yuqori haroratlarda olib boriladi, shu sababdan desorbsiyaning vaqti adsorbsiyanikiga nisbatan kam bo'ladi.

#### **25.4. Davriy harakatli adsorberni hisoblash.**

Bunday qurilmalar hisoblanilganda ularning diametri va balandligi topiladi. O'zgarmas qatlamda adsorberning diametri quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785\omega_0}} \quad (25.11)$$

bu yerda  $V$  – adsorbent qatlamidan o'tayotgan gaz aralashmasi yoki eritmaning hajmiy sarfi;  $\omega_0$  – gaz aralashmasi yoki eritmaning qurilmaning bo'sh keisimiga nisbatan olingan fiktiv yoki keltirilgan tezligi.

Gaz aralashmasining fiktiv tezligini to'g'ri tanlash muhim ahamiyatga ega. Agar adsorbsiya jarayonining jadalligi tashqi diffuziyaning tezligi orqali belgilansa,  $\omega_0$  ning ortishi bilan adsorbsiya tezligi ko'payadi, biroq bir vaqtning o'zida oqimni adsorbent qatlami orqali o'tkazish uchun zarur bo'lgan energiya sarfi ortadi. Shu sababdan har bir aniq sharoit uchun  $\omega_0$  ning optimal qiymati topiladi. Sanoat miqyosida  $\omega_0$  ning qiymati 0,3 m/s dan oshmaydi.

Adsorberning balandligini aniqlash adsorbent qatlamining balandligini aniqlash bog'liq. Qatlamning balandligi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$H = U(\tau_b - \tau_{ox}) \quad (25.12)$$

bu yerda  $U$  – qatlamdagi bir xil konsentratsiyali adsorbsiya fronti harakatining tezligi;  $\tau_b$  – qatlamning adsorbsion harakati yoki himoya qilish vaqti;  $\tau_{ox}$  – qatlamni himoya qilish vaqtining yo'qolishi.

Massa uzatish zonasining o'zgarmas tezligi moddiy balans tenglamasiga asosan quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$U = \omega_0 \frac{C_b}{\varepsilon C_b + C_0^*} \quad (25.13)$$

bu yerda  $C_0^*$  - adsorbentning oqimdagi hajmiy konsentratsiyasi  $C_b$  bilan muvozanatda bo'lgan adsorbent qatlamining hajm birligidagi adsorbentning konsentratsiyasi;  $\varepsilon$  – adsorbent qatlamidagi erkin hajmning ulushi.

Adsorbsiya jarayonining samaradorligi adsorbent qatlamiga gaz aralashmasi berilgandan tortib, to tegishli komponentning adsorbentda yutilmasdan qatlamning tashqi chetida paydo bo'lish momentigacha ketgan vaqt bilan ham xarakterlanadi. Vaqtning ushbu qiymati qatlamning yutilayotgan moddaga nisbatan adsorbsion himoya qilish vaqti deb yuritiladi. Qatlamning himoya qilish vaqti  $\tau_b$  ni N.A. Shilov va unin xodimlari tomonidan taklif etilgan empirik tenglama orqali topish mumkin:

$$\tau_b = KH - \tau_0 \quad (25.14)$$

bu yerda  $K = 1/U$  – qatlamning himoya qilish koeffitsiyenti,  $K\omega_0 = \text{const.}$

Amaliy hisoblashlarda qatlamni himoya qilish vaqtining yo'qolishi  $\tau_0$  ning qiymati tajriba natijalari asosida olingan quyidagi taxminiy bog'liqlik yordamida aniqlanadi:

$$\tau_0 \approx 0,5 \frac{H_0}{U} \quad (25.15)$$

bu yerda  $H_0$  – massa uzatish zonasining balandligi.

Massa uzatish zonasining balandligi quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$H_0 = \frac{U n_{oy}}{K_{yv}} \quad (25.16)$$

bu yerda  $n_{oy}$  – gaz fazasi bo'yicha hisoblangan umumiy uzatish soni;  $K_{yv}$  – gaz fazasi bo'yicha hisoblangan massa uzatishning hajmiy koeffitsiyenti.

### 25.5. Uzluksiz harakatli adsorberni hisoblash.

Bunday adsorberlarning diametri (25.11) tenglama yordamida aniqlanadi. Adsorbent qatlamining kerakli balandligi boshqa massa almashinuv jarayonlariga o'zlash massa uzatishning umumiy tenglamasiga asosan topiladi. Buning uchun massa uzatishning umumiy tenglamasini quyidagi differensial shaklga keltirish mumkin:

$$G_v d_y = K_{yv}(y - y^*)dV \quad (25.17)$$

O'zgaruvchi kattaliklarni ajratib va ularni  $y$  dan  $V$  gacha va  $y_b$  dan  $y_{ox}$  gacha chegaralarda integrallab, quyidagi ifodaga erishamiz:

$$\frac{K_{yv}V}{G_v} = \int_{y_{ox}}^{y_b} \frac{dy}{y - y^*} \quad (25.18)$$

(25.18) ifodadan adsorbentning hajmini aniqlash mumkin:

$$V = \frac{G_v n_{oy}}{K_{yv}} \quad (25.19)$$

bu yerda  $G_v$  – gaz aralashmasining hajmiy sarfi;  $n_{oy}$  – uzatish birgining soni;  $K_{yv}$  – massa uzatishning hajmiy koeffitsiyenti.

Qatlamning hajmi  $V$  va ko'ndalang kesimi  $S$  ga asosan uning balandligi topiladi:

$$H = \frac{V}{S} \quad (25.20)$$

Agar qurilma silindrsimon shaklga ega bo'lsa, (25.20) tenglama quyidagi ko'rinishni egallaydi:

$$H = \frac{V}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (25.21)$$

Ko'p kamerali mavhum qaynash qatlamli adsorberlar uchun har bir tarelkadagi qatlamning balandligi qabul qilinadi, so'ngra qurilmadagi tarelkalar soni aniqlanadi:

$$n = \frac{H}{h_0} \quad (25.22)$$

Adsorbentning sarfi moddiy balans tenglamasiga asosan topiladi. Qarama-qarshi oqimli uo'luksiz ishlaydigan qurilmalar uchun moddiy balans tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$L(a - a_b) = G(c - c_{ox}) \quad (25.23)$$

bu yerda  $L$  va  $G$  – adsorbent va tashuvchi gazning sarfi;  $a_b$  va  $a$  – qurilmaga kirishda va uning hohlagan kesimida olingan adsorbent tarkibidagi adsorbentning konsentratsiyasi;  $c_{ox}$  va  $c$  – adsorberdan chiqayotgan va uning hohlagan kesimi bo'yicha olingan oqimdagi adsorbentning konsentratsiyalari.

Agar jarayon boshlanishi va oxiridagi adsorbentning konsentratsiyalari aniq bo'lsa, ishchi chizig'ining og'ish bupchagi asosan adsorbentning minimal sarfi  $L_{min}$  ni aniqlash mumkin:

$$\frac{L_{min}}{G} = \frac{c_b - c_{ox}}{a_m - a_b} \quad (25.24)$$

bu yerda  $a_m$  – adsorbent tarkibidagi adsorbentning muvozanat konsentratsiyasi.

Adsorbentning haqiqiy sarfi  $L_{min}$  dan 10÷30% ko'p bo'ladi.

### Nazorat savollari.

1. Adsorbsiya izotermalari necha turga bo'linadi?
2. Freyndlix va Langyurm tenglamalar qanday ifoda qilinadi?
3. Adsorbsiya jarayonidagi massa uzatishni tushuntiring?
4. Tashqi va ichk diffuziyalarning tezliklari qanday qilib topiladi?
5. Desorbsiya. Uning ahamiyati.
6. Adsorbent necha xil usullar yordamida regeneratsiya qilinadi?

## 1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.

**Ma'ruza rejasi:**

26.1. Yutuvchi moddasi qo'zg'almas qatlamli adsorberlar.

26.2. Yutuvchi moddasi qo'zg'aluvchan qatlamli adsorberlar.

26.3. Qaynov qatlamli bir kamerali adsorberlar.

26.4. Qaynov qatlamli ko'p kamerali adsorberlar.

26.5. Mavhum qaynash qatlamli adsorberlar.

**Mashg'ulotning maqsadi:**

Adsorber qurilmalarining sxemalari to'g'risida umumiy tushunchalar berish.

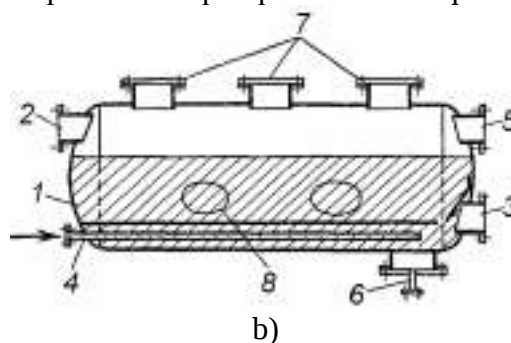
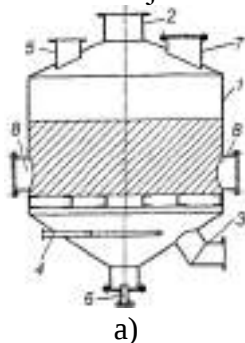
**Talabning o'quv faoliyati natijalari:**

- yutuvchi moddasi qo'zg'almas qatlamli adsorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- yutuvchi moddasi qo'zg'aluvchan qatlamli adsorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- qaynov qatlamli bir kamerali adsorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- qaynov qatlamli ko'p kamerali adsorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi;
- mavhum qaynash qatlamli adsorberlar to'g'risida tushunchalar beriladi

**Nazorat shakli:** Og'zaki nazorat: savol-javob**Maksimal ball:** 2 b. **Talabaga qo'yilgan ball:** \_\_\_\_\_**O'qituvchi imzosi:** \_\_\_\_\_**Tayanch iboralar:** adsorbsiya, adsorbent, desorbsiya, adsorber, qatlam, kamera, qaynash, mavhum qaynash, qo'zg'almas qatlam.**26.1. Yutuvchi moddasi qo'zg'almas qatlamli adsorberlar.**

Ish rejimiga ko'ra adsorberlar davriy va uzluksiz bo'ladi. Adsorbent qatlamining xarakteriga ko'ra davriy adsorberlar o'zgaras va mavhum qaynash qatlamli qurilmalarga bo'linadi. Uzluksiz ishlaydigan qurilmalar harakatchan va mavhum qaynash qatlamli bo'lishi mumkin.

26.1-rasm, a da davriy ishlaydigan vertikal adsorberning sxemasi ko'rsatilgan. Qoplamaning ichidagi taqsimlovchi panjaraning ustida qo'zg'almas adsorbent qatlami mavjud. Gaz aralashmasi patrubka orqali qurilmaga kirib, panjara orqali adsorbent qatlamiga tarqaladi. Tegishli komponent gaz fazasidan qattiq yuzaga yutiladi. Tozazalangan gaz patrubka orqali qurilmaga solinadi, tuynuk yordamida esa qurilmadan tushiriladi. Desorbsiya qilish uchun taqsimlovchi qurilma yordamida o'tkir suv bug'i beriladi. Desorbsiya vaqtida adsorbentda yutilgan komponent suv bug'i tarkibiga o'tadi va bug'-gaz aralashmasi sifatida patrubka orqali qurilmadan chiqariladi. O'tkir bug'ning qisman kondensatsiyalanishi natijasida hosil bo'lgan kondensat patrubka orqali qurilmadan chiqib ketadi.

**26.1-rasm. Yutuvchi moddasi qo'zg'almas qatlamli adsorber:**

a-vertikal; b-gorizontal; 1-korpus; 2-bug'-gaz aralashmasi yoki havoni uzatish shtuser; 3-tozazalangan gaz yoki havoni chiqarish uchun shtuser; 4-desorbsiyada o'tkir bug'ni kiritish uchun patrubka; 5-desorbsiyada bug'ni chiqarish uchun shtuser; 6-kondensatni chiqarish uchun shtuser; 7-yutuvchini yuklash uchun tuynuklar; 8-yutuvchini chiqarish uchun tuynuklar.

Davriy ishlaydigan gorizontal adsorberning sxemasi 26.1-rasm, b da ko'rsatilgan. Bu qurilma ishlash prinsipi bo'yicha vertikal adsorberdan farq qilmaydi, faqat silindrsimon qoplama gorizontal joylashgan.

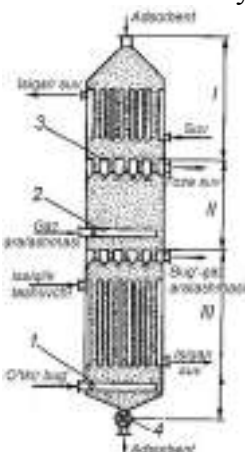
Davriy ishlaydigan adsorberlarda adsorbentning yutish sig'imida to'la foydalanilmaydi. Desorbsiya jarayoni ham ushbu adsorberlarning o'zida olib boriladi. Natijada qurilmadan foydalanish darajasi kam bo'ladi. Bu kamchiliklardan uzluksiz ishlaydigan qurilmalar holidir.

Odatda davriy adsorbsiya jarayoni to'rtta bosqich bilan olib boriladi: 1) adsorbsiyaning o'zi; 2) desorbsiya; 3) adsorbentni quritish; 4) adsorbentni sovitish.

Bir nechta davriy ishlaydigan adsorberlardan tashkil topgan qurilmaning ishini uzluksiz rejimda ishlatish mumkin. bunda qurilmalar ketma-ket adsorber yoki desorber vazifasini bajaradi. Bir rejimdan ikkinchi rejimga o'tish avtomatik ravishda amalga oshiriladi.

### **26.2. Yutuvchi moddasi qo'zg'aluvchan qatlamli adsorberlar.**

26.2-rasmda uzluksiz ishlaydigan harakatchan qatlamli adsorberning sxemasi berilgan. Qattiq jism – gaz tizimlari uchun bunday qurilmalar balandligi bo'yicha bir xil nechta seksiyalarga ajratilgan kolonna shaklida tayyorlanadi. Har bir seksiya ma'lum bir jarayonni amalga oshirish uchun moslashtiriladi. I seksiya adsorbentni sovitish uchun mo'ljallangan bo'lib, qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi ko'rinishiga ega. Regeneratsiyadan qaytgan adsorbent zarrachalari quvurlarning ichidan harakat qiladi. Sovituvchi suyuqlik quvurlararo bo'shliqdan o'tadi.



**26.2-rasm. Uzluksiz ishlaydigan harakatchan qatlamli adsorberning sxemasi:**

I-adsorbentni sovitish seksiyasi; II-adsorbsiya seksiyasi; III-regeneratsiya seksiyasi; 1 va 2 – taqsimlovchi qurilmalar; 3-taqsimlovchi tarelka; 4-zatvor (tushirish mexanizmi).

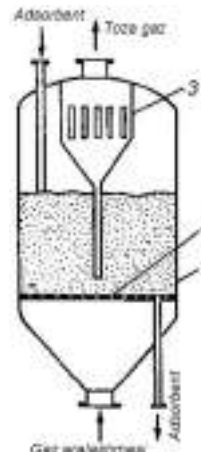
II seksiya adsorberning o'zi bo'lib, bu yerda asosiy jarayon, ya'ni gaz fazasidan qattiq fazaga bir yoki bir nechta komponentning yutilishi yuz beradi. Adsorbent zarrachalari taqsimlovchi tarelka yordamida kolonnaning ko'ndalang keisim bo'ylab sochib beriladi. Gaz aralashmasi taqsimlovchi qurilma orqali II seksiyaga beriladi, tozalangan gaz esa tarelkaning ostida joylashgan patrubka orqali tashqariga chiqariladi. Ushbu seksiyada qattiq va gaz fazalari qarama-qarshi oqimda harakat qiladi.

III seksiyada adsorbent regeneratsiya qilinadi. Bu seksiya ham I seksiyaga o'xshash qoplama quvurli issiqlik almashinuv qurilmasi ko'rinishiga ega. Quvurlarning ichki qismidan adsorbent zarrachalari harakat qiladi, quvurlararo bo'shliqdan esa isituvchi issiqlik tashuvchi o'tadi. Adsorbentni regeneratsiya qilish maqsadida taqsimlovchi qurilma orqali o'tkir bug' yuboriladi. II va III seksiyalarning oralig'ida ham taqsimlovchi tarelka o'rnatilgan. Regeneratsiya vaqtda hosil bo'lgan bug'-gaz aralashmasi seksiyaning yuqori qismida joylashgan patrubka orqali tashqariga chiqariladi.

Regeneratsiya qilingan adsorbent maxsus zatvor yordamida qurilmadan tushiriladi. Bu zatvor bug'ning qurilmadan chiqib ketmasligini ham ta'minlaydi. So'ngra pnevmotransport yordamida adsorbent uzluksiz ravishda qurilmaning yuqori seksiyasiga yuborib turiladi. Pnevмотransport adsorbent zarrachalarining qurishiga yordam beradi.

### **26.3. Qaynov qatlamli bir kamerali adsorberlar.**

26.3-rasmda mavhum qaynash qatlamli adsorberning sxemasi ko'rsatilgan. Bu qurilmada adsorbent mavhum qaynash holatida bo'ladi. Qurilma silindrsimon qoplamadan iborat bo'lib, adsorbent



**26.3-rasm. Qaynov qatlamli bir kamerali adsorebr qurilmasi:**

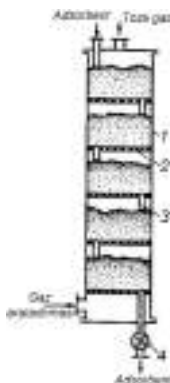
1-qoplama; 2-gaz taqsimlovchi tayanch panjara; 3-separator

uzluksiz ravishda gaz taqsimlovchi panjara ustiga berilib turiladi. Gaz aralashmasi ma'lum kritik tezlik bilan panjaraning ostiga beriladi, so'ng adsorbent qatlamidan o'tib uni mavhum qaygash holatiga keltiradi. Adsorbsiya davomida tegishli komponentlar gaz aralashmasi tarkibidan qattiq fazaga yutiladi. Tozalangan agz qurilmaning yuqori qismidagi shtuser orqali chiqib ketadi. Adsorbentning ortiqchasi tushirish quvuri orqali chiqib ketadiyu gaz oqimi bilan qo'shilib ketayotgan adsorbentning mayda zarrachalari separator yordamida ajralib qatlama qaytariladi. O'zida yutiluvchi modda tutgan adsorbent boshqa qurilmada desorbsiya qilinadi. Regeneratsiya qilingan adsorbent qaytadan ishlatiladi.

Bu turdagi uzluksiz ishlay digan bir kamerali adsorberlar bir qator afzaliklarga ega. Bunday qurilmada adsorbent zarrachalari yaxshi aralashadi, biroq ularning qatlamda bo'lish vaqti har xil. Natijada zarrachalarning yutilayotgan modda bilan to'yinish darajasi ham turlicha bo'ladi. Bunday kamchiliklardan qutilish uchun sanoatda ishlatiladigan qurilmalarning ko'p kamerali qilib tayyorlanadi.

#### **26.4. Qaynov qatlamli ko'p kamerali adsorberlar.**

26.4-rasmda mavhum qaynash qatlamli uzluksiz ishlaydigan ko'p kamerali adsorberning sxemasi ko'rsatilgan. Bunday qurima silindrsimon vertikal kolonnadan 1 iborat bo'lib, gaz taqsimlagichlar 2 yordamida bir nechta kameralarga bo'lingan. Gaz aralashmasi patrubka 5 orqali kolonnaning pastki qismiga beriladi va ketma-ket gaz taqsimlagichlar yordamida pastki tarelkadan yuqori tarelka tomon harakat qiladi. Adsorbent zarrachalari quyilish quvurlari 3 orqali, gaz oqimiga qarama-qarshi yo'nalishda, yuqori tarelkalardan pastga tomon harakat qiladi. Adsorbent patrubka 6 orqali qurilmaga beriladi va tushirish mexanizmi 4 yordamida qurilmadan uzluksiz chiqarib turiladi. Tozalangan gaz esa patrubka 7 yordamida kolonnadan chiqariladi. Bu qurilmalarda gaz aralashmasi uning ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab bir xil taqsimlanadi va fazalarning kontakt yuzasi ortadi. Natijada adsorbent zarrachalarining to'yinish darajasi yutilayotgan komponentga nisbatan bir xil va maksimal yutilish sig'imiga ega bo'ladi.

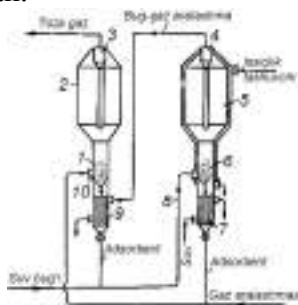


#### **26.4-rasm. Uzluksiz ishlaydigan ko'p kamerali adsorber qurilmasi:**

1-kolonna; 2-gaz taqsimlovchi tarelkalar; 3-quyilish quvurlari; 4-tushirish mexanizmi.

#### **26.5. Mavhum qaynash qatlamli adsorberlar.**

Gaz va qattiq fazalar zichliklari o'rtasida katta farq borligi sababli hozirda adsorbsiya jarayonini adsorbentning mavhum qaynash holatida olib borish keng tarqalmoqda. Bunday jarayonlarda adsorbentni uzatish uchun pnevmotransport, gaz oqimlaridan qattiq zarrachalarni ajratish uchun esa siklonlar qo'llanilmoqda. 26.5-rasmda uzluksiz ishlaydigan mavhum qaynash qatlamli qurilmaning sxemasi ko'rsatilgan. Bu qurilmaning asosiy qurilmalari qatoriga adsorber 1 va desorber 6 kiradi, bu qurilmalar o'zaro material oqimlari bilan birlashgan.



#### **26.5-rasm. Uzluksiz ishlaydigan mavhum qaynash qatlamli adsorbsion qurilmaning sxemasi:**

1-adsorber; 2, 5-separatsion bo'shliqlar; 3, 4-siklonlar; 6-desorber; 7-issiqlik almashinuv qurilmasi; 8-quvur; 9-isitgich; 10-shtuser.

Dastlabki gaz aralashmasi regeneratsiya qilingan adsorbent bilan birgalikda shtuser 10 orqali adsorberga kiradi. Adsorberning yuqori qismidan yutilmagan gaz chiqadi, uning tarkibidagi adsorbentning zarrachalari separatsion bo'shliq 2 va siklonda 3 ajratiladi. O'zida gaz fazasidan bir yoki bir nechta komponentlarni yutib olgan adsorbent isitgichga 9 tushadi. Isitgichda adsorbent desorberdan chiqayotgan bug'-gaz aralashmasi bilan isitiladi, so'ngra desorbsiya qiluvchi issiqlik tashuvchi (odatda suv bug'i) yordamida quvur 8 orqali desorberga uzatiladi. Desorber isituvchi qoplama, separatsion bo'shliq 5 va siklon 4 bilan ta'minlangan. Regeneratsiya qilingan adsorbent issiqlik almashinuv qurilmasida 7 soviydi va adsorberga qaytariladi.

Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar qator afzalliklarga ega: adsorbsiya va desorbsiya jarayonlari uzluksiz ravishda boradi; fazalar o'rtasidagi konakt yuza katta; adsorbent zarrachalari qurilmaning ichida jadal aralashadi; ish unumdorigi yuqori va hokazo. Mavhum qaynash qurilmalarining ishini samarali olib borish uchun bir qator murakkab texnikaviy vazifalarni hal qilishga to'g'ri keladi. Bular qatoriga quyidagilar kiradi: adsorbentning uzluksiz harakatni uyushtirish; adsorbent zarrachalarining yeyilib ketishini minimumga keltirish; adsorbentning chang holatidagi mayda zarrachalarini qurilmadan chiqib ketishiga yo'l qo'ymaslik. Bunday kamchiliklarni yo'qotish uchun, birinchidan yuqori darajagi mustahkam adsorbentlardan foydalanish, ikkinchidan esa adsorber va desorberni konstruktiv jihatdan mukammal qilib yaratish maqsadga muvofiq bo'ladi.

#### **Nazorat savollari.**

1. Adsorberlarning asosiy turlarini ayting?
2. Davriy ishlaydigan adsorberlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
3. Davriy adsorbsiya jarayoni necha bosqichdan iborat?
4. Mavhum qaynash va harakatchan qatlamli adsorberlarning afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
5. Davriy ishlaydigan adsorbsion qurilma tarkibiga qanday moslamalar kiradi?
6. Rekuperatsiya jarayoni necha bosqichdan iborat?
7. O'zgaras va o'zgaruvchan qatlamli moslamalarni hisoblash qaysi tartibda olib boriladi?

**27-MA'RUZA**

**HAYDASH JARAYONLARI.**

#### **1.1. Kirish. Mavzu bo'yicha reja – topshiriq va o'quv-uslubiy hujjatlar.**

|                                                                                                                         |                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Ma'ruza rejasi:</b>                                                                                                  |                                                             |
| 27.1. Umumiy ma'lumot.                                                                                                  |                                                             |
| 27.2. Fraksiyali haydash.                                                                                               |                                                             |
| 27.3. Deflegmasiyali haydash.                                                                                           |                                                             |
| 27.4. Suv bug'ili haydash.                                                                                              |                                                             |
| 27.5. Muvozanatli haydash.                                                                                              |                                                             |
| <b>Mashg'ulotning maqsadi:</b>                                                                                          | Haydash jarayonlari to'g'risida umumiy tushunchalar berish. |
| <b>Talabaning o'quv faoliyati natijalari:</b>                                                                           |                                                             |
| - fraksiyali haydash to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                 |                                                             |
| - deflegmasiyali haydash to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                             |                                                             |
| - suv bug'ili haydash to'g'risida tushunchalar beriladi;                                                                |                                                             |
| - muvozanatli haydash to'g'risida tushunchalar beriladi                                                                 |                                                             |
| <b>Nazorat shakli:</b> Og'zaki nazorat: savol-javob                                                                     |                                                             |
| <b>Maksimal ball: 2 b. Talabaga qo'yilgan ball:</b> _____                                                               |                                                             |
| <b>O'qituvchi imzosi:</b> _____                                                                                         |                                                             |
| <b>Tayanch iboralar:</b> haydash, distilyatsiya, ajratish, molekulyar, suv bug'ili, fraksiyali, deflegmasiyali haydash. |                                                             |

### **27.1. Umumiy ma'lumot.**

Ikki yoki bir necha komponentlardan tashkil topgan bir jinsli suyuqlik aralashmalarini ajratishda haydash (distillyatsiya va rektifikatsiya) usuli keng ishlatiladi.

Agar boshlanich aralashma uchuvchan va uchmaydigan komponentlardan iborat bo'lsa, bunda bug'latish orqali suyuqlikni tashkil etuvchi komponentlarga ajratish mumkin. Haydash yo'li bilan esa komponentlar turli uchuvchanlikka ega bo'lgan holda ham suyuq aralashmalarni ajratish mumkin. Haydash yo'li bilan suyuqliklarni ajratish bir xil haroratda aralashma komponentlarining turlicha uchuvchanlikka ega bo'lishiga asoslangan. Shu sababli haydash paytida aralashma tarkibidagi hamma komponentlar o'zlarining uchuvchanlik xususiyatiga proporsional ravishda bug' holatiga o'tadi.

Misol tariqasida ikki, ya'ni yengil va qiyin uchuvchan komponentli binar aralashmani ajratishni ko'rib chiqamiz. Haydash natijasida hosil bo'lgan bug' nisbatan ko'p miqdorda yengil uchuvchan (yoki past haroratda qaynatilgan) komponentdan tashkil topgandir. Haydash natijasida suyuq faza tarkibida yengil uchuvchan komponent kamaya boradi, bug' fazasida uning miqdori ko'paya boradi. Bug'lanmay qolgan suyuqlik tarkibi asosan qiyin uchuvchan yoki yuqori haroratda qaynaydigan komponentdan tashkil topgan bo'ladi.

Haydash jarayonidan ajralib chiqqan bug' kondensatsiya jarayoniga uchraydi, hosil bo'lgan kondensat distillyat yoki rektifikat deb ataladi. Bug'lanmay qolgan va qiyin uchuvchan komponentdan tashkil topgan suyuqlik qoldiq deb yuritiladi.

Bug' fazasining yengil uchuvchan komponent bilan boyish darajasi asosan haydash usuliga bog'liq. Suyuqliklarni haydashning ikkita prinsipial usuli bor: 1) oddiy haydash (distillyatsiya); 2) murakkab haydash (rektifikatsiya).

Aralashma komponentlarining uchuvchanligi o'rtasidagi farq ancha katta bo'lsa, bunda oddiy haydash usulidan foydalaniladi. Oddiy haydash paytida suyuqlikning bir marta qisman bug'lanishi yuz beradi. Odatda bu usul suyuq aralashmalarni birlamchi ajratish hamda murakkab aralashmalarni keraksiz qo'shimchalardan tozalash uchun ishlatiladi.

Suyuq aralashmalarni komponentlarga to'la ajratish uchun rektifikatsiya usulidan foydalaniladi. Rektifikatsiya jarayoni aralashmani bug'latishda ajralgan bug' va bug'ning kondensatsiyalanishi natijasida hosil bo'lgan suyuqlik o'rtasida ko'p marotabalik kontakt paytidagi modda almashinuviga asoslangan.

Suyuq aralashmalarni rektifikatsiya yordamida ajratish kolonnali qurilmalarda olib boriladi, bunda bug' va suyuqlik fazalari o'rtasida uzluksiz va ko'p marotabalik kontakt yuz beradi. Fazalar o'rtasida modda almashinuv jarayoni boradi. Suyuq fazadan yengil uchuvchan komponent bkg' tarkbiga o'tadi, bug' fazasidagi uchuvchan komponent esa suyuqlikka o'tadi. Rektifikatsion kolonnaning yuqorigi qismidan chiqayotgan bug' asosan yengil uchuvchan komponentdan iborat bo'lib, u kondensatsiyaga uchragandan so'ng ikki qismga ajraladi. Kondensatning birinchi qismi distillyat yoki rektifikat (yuqorigi mahsulot) deb ataladi. Kondensatning ikkinchi qismi esa qurilmaga qaytariladi va u flegma deb ataladi. Qurilmaga qaytarilgan suyuqlik (flegma) pastdan ko'tarilayotgan bug' bilan uchrashadi. Kolonnaning pastki qismidan, asosan, qiyin uchuvchan komponentdan tashkil topgan qoldiq uzluksiz ravishda chiqarib turiladi.

Hozirgi vaqtda kimyoviy texnologiyaning ko'pchilik sohalarida (organik sintez, izotoplar, polimerlar, yarim o'tkazgichlar va shu kabi bir qator o'ta toza mahsulotlar ishlab chiqarishda) rektifikatsiya usuli keng qo'llanilmoqda. Rektifikatsiya jarayoni spirt, neft va sintetik kauchuk ishlab chiqarishda ham keng ishlatiladi. Bundan tashqari, spirt, vino, liyor-arok va efir moylari ishlab chiqarishda ham rektifikatsiyadan foydalaniladi.

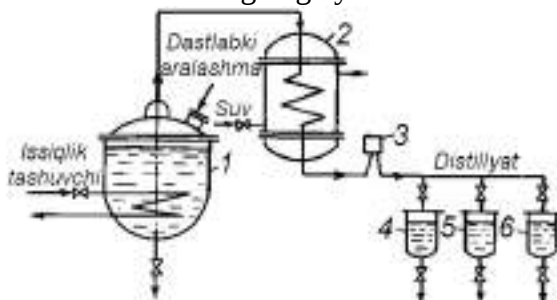
Aralashma komponentlarning qaynash haroratlari bir-biriga yaqin bo'lsa bunday aralashmalarni ajratish ancha qiyin hisoblanadi. Bunday hollarda haydashning maxsus usullari: ekstraktiv rektifikatsiya, azeotrop rektifikatsiya, molekulyar distillash va past haroratli rektifikatsiya jarayonlaridan foydalaniladi.

### **27.2. Fraksiyali haydash.**

Suyuq aralashmalarni bir marta qisman bug'latish yo'li bilan ajratish jarayoni oddiy haydash deb ataladi. Oddiy haydash jarayoni aralashma komponentlarining uchuvchanliklari o'rtasidagi farq ancha katta bo'lgandagina ishlatiladi. Odatda suyuq aralashmalarni birlamchi ajratish uchun hamda murakkab aralashmalarni keraksiz qo'shimchalardan tozalash uchun oddiy haydash usulidan foydalaniladi.

Oddiy haydash quyidagi usullarga bo'linadi: 1) fraksiyali haydash; 2) deflegmasiyali haydash; 3) suv bug'ili haydash.

**Fraksiyali haydash.** Suyuqliklarni fraksiyali haydash davriy yoki uzluksiz usullarda olib boriladi. Haydash kubidagi suyuqlik asta-sekin bug'latiladi. Hosil bo'lgan bug'lar kondensatorga yuboriladi. Agar haydash jarayoni davriy ravishda olib borilsa, u holda vaqt o'tishi bilan qoldiq suyuqlikdagi yengil uchuvchan komponentning miqdori va natijada, distillyatning tarkibidagi yengil uchuvchan komponentning miqdori ham kamaya boradi. Shu sababli har xil tarkibli distillyatning fraksiyalari ajratib olinadi. Har xil tarkibli mahsulot olishga mo'ljallangan suyuqliklarni ajratish usuli fraksiyali haydash deb ataladi. 27.1-rasmda fraksiyali haydash uchun davriy ishlaydigan qurilmaning sxemasi ko'rsatilgan. Dastlabki aralashmaning ma'lum miqdori haydash kubiga solinadi. Haydash kubining ichiga zmeevik joylashtirilgan bo'lib, u orqali suv bug'i o'tadi. Suyuqlik qaynash haroratigacha isitiladi. Hosil bo'lgan bug'lar kondensator-sovitgichga yuboriladi.

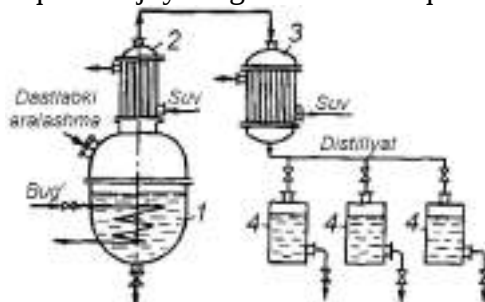


**27.1-rasm. Fraksiyali haydash qurilmasining sxemasi:**

1-haydash kubi; 2-kondensator-sovitgich; 3-kuzatish fonari; 4, 5, 6-distillyat yig'iladigan idishlar.

### **27.3. Deflegmasiyali haydash.**

Suyuqlik aralashmasining ajratish darajasini oshirish uchun distillyatning tarkibi deflegmatsiya yordamida boyitiladi (27.2-rasm). Haydash kubidan chiqayotgan bug'lar deflegmatorga o'tadi, u yerda bug'lar qisman kondensatsiyalanadi. Asosan bug'ning tarkibidagi qiyin uchuvchan komponent kondensatsiyalanadi va hosil bo'lgan suyuqlik (flegma) haydash kubiga qaytib tushadi. Yengil uchuvchan komponent bilan to'yingan bug'lar kondensator sovitgichga o'tadi va u erda to'la kondensatsiyalanadi. Kondensat o'z navbatida tegishli idishlarga yuboriladi. Haydash jarayonining tugashi kubda qolgan suyuqlikning qaynash harorati bo'yicha tekshiriladi. Odatda qoldiq suyuqlik ma'lum tarkibga ega bo'lishi kerak. Tarkibida asosan qiyin uchuvchan komponent ushlagan qoldiq suyuqlik haydash kubining pastki qismida joylashgan shtutser orqali tegishli idishga tushiriladi.



**27.2-rasm. Deflegmasiyali oddiy haydash qurilmasining sxemasi:**

1-haydash kubi; 2-deflegmator; 3-kondensator-sovitgich; 4-yig'gichlar.

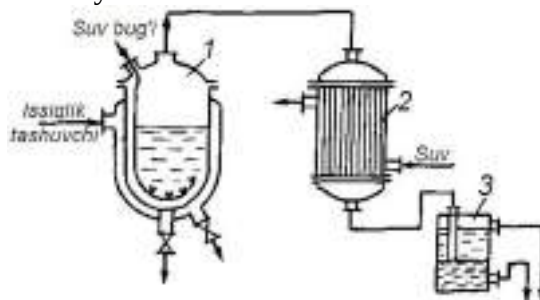
Distillyat fraksiyalari tegishli idishlarga tushadi. Haydash jarayoni tamom bo'lgandan so'ng, qoldiq suyuqlik haydash kubidan tushirib olinadi. So'ngra sikl qayta takrorlanib, ajratilishi lozim bo'lgan suyuqlik haydash kubiga yana beriladi.

Oddiy haydash atmosfera bosimi yoki vakuum ostida olib borilishi mumkin. Vakuumni qo'llash natijasida issiqlikka chidamsiz aralashmalarni ajratish imkoni tug'iladi. Vakuum qo'llanilganda eritmalarning qaynash harorati pasayadi, shu sababli haydash kubini isitishda past ko'rsatkichli suv bug'laridan foydalanish mumkin.

### **27.4. Suv bug'ili haydash.**

Aralashmaning qaynash haroratini pasaytirishda vakuum ishlatishdan tashqari uning tarkibiga qo'shimcha komponentlar (suv bug'i yoki inert gaz) kiritish yo'li bilan ham erishish mumkin. Agar

aralashmaning komponentlari suvda erimasa, u holda haydash kubiga qo'shimcha komponent sifatida suv bug' kiritiladi. Bu usuldan 100°C dan yuqori haroratlarda qaynaydigan moddalarning aralashmalarini ajratish yoki ularni tozalash uchun foydalanish mumkin.



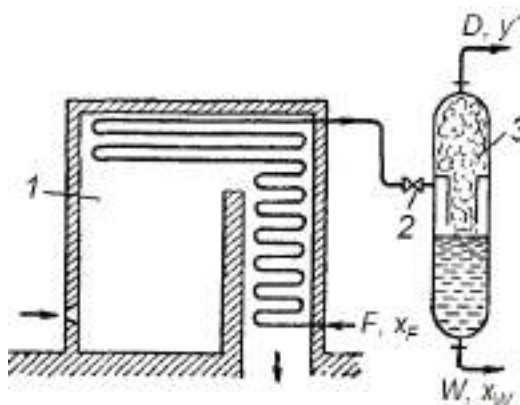
**27.3-rasm. Suv bug'i bilan haydash qurilmasining sxemasi:**  
1-bug' g'ilofli haydash kubi; 2-kondensator-sovitgich; 3-separator.

Suv bug'i bilan ishlaydigan haydash qurilmasining sxemasi 27.3-rasmda ko'rsatilgan. Bu qurilmani haydash kubining qobig'iga susaytirilgan bug' beriladi. Dastlabki aralashma haydash kubiga qo'yiladi, so'ngra barbotyor orqali kuchli suv bug'i yuboriladi. Aralashmaning bug'lanishidan hosil bo'lgan bug'lar kondensator-sovitgichga beriladi. Hosil bo'lgan kondensat ko'rsatkich fonar orqali separatorga tushadi. Separatorning pastki qismidan gidravlik zatvor orqali suv chiqarib yuboriladi, yuqorigi qismidan esa suvda erimaydigan yengil komponent chiqariladi va maxsus idishga tushadi. Suv bug'i bilan haydash nomuvozanat holatda olib boriladi. Bu jarayonda kuchli suv bug'i ikki xil (issiqlik tashuvchi va qaynash haroratini pasaytiruvchi agent) vazifani bajaradi. Jarayonni davriy yoki uzluksiz usul bilan borish mumkin.

Ayrim sharoitlarda suv bug'i o'rniga inert gazlar (masalan, azot, uglerod ikki oksid va boshqalar) dan foydalaniladi. Inert gazlar qo'llanilganda aralashmaning qaynash haroratini ancha pasaytirish mumkin. Biroq haydash kubidan uchib chiqayotgan bug' tarkibidagi inert gazlarning bo'lishi kondensator-sovitgichda issiqlik berish koeffitsiyentining keskin pasayib ketishiga olib keladi. Natijada issiqlik almashinuv yuzasi kattalashib ketadi. Bundan tashqari, bug'-gaz aralashmasining kondensatsiyalanishi tuman hosil bo'lishiga olib keladi. Bunday holda esa aralashmaning ajralishi qiyinlashadi va tayyor mahsulotning bir qismi inert gaz bila uchib ketadi.

#### **27.5. Muvozanatli haydash.**

Haydashning ushbu turi neftni qayta ishlash va neft kimyosi sanoatlarida asosan tarkibida uchuvchan komponentlari mavjud bo'lgan qiyin aralashmalarni ajratish (rektifikatsiyadan oldin) uchun qo'llaniladi.



**27.5-rasm. Muvozanatli haydash qurilmasining sexamasi:**  
1-quvurchali pech; 2-drossel ventil; 3-separator.

Dastlabki aralashma qizdiriladi va quvurchali pechda bir marta bug'latiladi (27.5-rasm) ( $D$  – bug' miqdori). Bug'lar jarayonning oxirigacha bug'lanmaydigan suyuqlik bilan to'qnashadi va u suyuqlik bilan muvozanat holatga keladi. Oxirgi haroratga erishilgandan keyin bug' va suyuqlik aralashmasi drossel ventil 2 orqali separatorga 3 yuboriladi, u yerda hosil bo'lgan bug'lar bug'lanmaydigan suyuqlikdan ajratiladi. Ushbu jarayonda aralashmalarni yaxshi ajratishga erishib bo'lmaydi. Shuning uchun olingan mahsulotlar navbatdagi rektifikatsiya jarayoniga yuboriladi.